

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**  
**ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**INGENIERÍA INDUSTRIAL, ESPECIALIDAD  
ELECTRICIDAD**

**Síntesis de series horarias de índices de claridad usando el método de  
Moving Block Bootstrap**

**AUTOR:** Miguel González Adrados

**DIRECTOR:** Julio Usaola García

**TUTOR:** Julio Usaola García

Leganes, Febrero de 2017

## **Resumen:**

En el siguiente trabajo se han sintetizado series anuales de índices de claridad horarios con el objetivo de ser capaz de cuantificar la cantidad de recurso solar disponible en distintas ubicaciones de la península ibérica. Los índices de claridad son la relación de la irradiación solar incidente sobre una superficie horizontal situada sobre la tierra dividida entre la radiación que llega a una superficie horizontal situada fuera de la atmosfera.

Para crear los índices de claridad se necesitan datos de irradiación solar incidente sobre una superficie horizontal situada sobre la tierra (capítulo cuatro). Además, es necesario calcular los valores correspondientes de radiación sobre una superficie horizontal situada fuera de la atmosfera (capítulo dos). Finalmente dividiendo los primeros entre los segundos se obtendrán las series de índices de claridad que servirán de datos.

El método empleado para sintetizar nuevas series será el Moving Block Bootstrap (capítulo tres). Dicho método de remuestreo se implementará de varias formas para poder comparar los resultados (capítulo cinco) y extraer conclusiones más fiables sobre la evolución anual de los índices de claridad (capítulo seis).

Para realizar todos los cálculos y procesos se han desarrollado varios programas en el entorno de Matlab.

**Palabras clave:** *Moving Block Bootstrap, Índices de claridad, Cálculo de radiación solar extraterrestre, Estimación de temperatura a partir de radiación solar.*

## **Summary:**

In the following work annual series of clarity indexes have been synthesized with the goal of been able to measure the amount of solar resource available in several locations of the Iberian peninsula. The clarity indexes are the division between the solar radiation incident on a horizontal surface located on land and the solar radiation that reach a horizontal surface located outside of the atmosphere.

In order to create the clarity indexes solar radiation data incident on a horizontal surface located are necessary (chapter four). Furthermore it is necessary to calculate the corresponding values of the solar radiation that reaches a horizontal surface located outside of the atmosphere (chapter two). Finally through divide the first ones between the second ones the clarity indexes series that will be used as data will be obtained.

To synthesized new series the Moving Block Bootstrap method will be used (chapter three). This resampling method will be carry out in several ways in order to compare the results (chapter five) and draw more reliable conclusions about the annual evolution of the clarity indexes (chapter six).

So as to make all the calculations and process several programs have been developed in Matlab environment.

**Keywords:** *Moving Block Bootstrap, Clarity indexes, Extraterrestrial solar radiation calculation, Temperature stimation from solar radiation.*

# ÍNDICE

|   |            |
|---|------------|
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>  | <b>6</b>   |
| <b>ÍNDICE DE FÓRMULAS</b>   | <b>21</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b>   | <b>22</b>  |
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>  | <b>23</b>  |
| 1.1. MOTIVACIÓN   | 23         |
| 1.2. OBJETIVOS  | 25         |
| <b>2. RADIACIÓN SOLAR</b>   | <b>26</b>  |
| 2.1. RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE   | 26         |
| 2.1.1. <i>Constante solar</i>   | 27         |
| 2.1.2. <i>Distancia tierra sol</i>  | 27         |
| 2.1.3. <i>Declinación</i>   | 29         |
| 2.1.4. <i>Hora solar</i>  | 30         |
| 2.1.4.1. Ecuación del tiempo  | 30         |
| 2.1.4.2. Tiempo solar verdadero   | 31         |
| 2.1.5. <i>Posición del Sol respecto a un observador en tierra</i>   | 32         |
| 2.1.5.1. Ángulo horario   | 33         |
| 2.1.5.2. Ángulo cenital   | 33         |
| 2.1.6. <i>Irradiancia extraterrestre sobre un plano horizontal</i>  | 35         |
| 2.2. ÍNDICES DE CLARIDAD  | 36         |
| 2.3. ENERGÍA SOLAR  | 37         |
| <b>3. MOVING BLOCK BOOTSTRAP</b>  | <b>40</b>  |
| 3.1. BOOTSTRAP O ESTIMACIÓN AUTOSUFICIENTE Y MBB  | 40         |
| 3.2. ALGORITMO MBB  | 41         |
| 3.3. IMPLEMENTACIONES DEL MBB APLICADAS   | 43         |
| <b>4. DATOS UTILIZADOS</b>  | <b>46</b>  |
| 4.1. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE RADIACIÓN  | 47         |
| 4.1.1. <i>Datos de radiación medidos</i>  | 50         |
| 4.1.2. <i>Valores de radiación extraterrestre calculados</i>  | 51         |
| 4.2. ESTUDIO DE LOS ÍNDICES DE CLARIDAD SACADOS DE LOS DATOS  | 52         |
| 4.2.1. <i>Análisis de los datos estación por estación para los índices de claridad diarios</i>                    | 56         |
| 4.2.2. <i>Análisis de los datos estación por estación para los índices de claridad horarios</i>                   | 61         |
| 4.2.3. <i>Análisis de los datos por provincias para los índices de claridad horarios y diarios</i>                | 65         |
| 4.2.4. <i>Análisis de los datos de índices de claridad horarios y diarios en conjunto de todas las estaciones</i> | 72         |
| 4.3. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE TEMPERATURA  | 73         |
| <b>5. RESULTADOS</b>  | <b>76</b>  |
| 5.1. APLICACIÓN DEL ALGORITMO MBB1  | 76         |
| 5.2. APLICACIÓN DEL ALGORITMO MBB2  | 84         |
| 5.3. APLICACIÓN DEL ALGORITMO MBB3  | 94         |
| 5.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS   | 98         |
| <b>6. CONCLUSIONES</b>  | <b>102</b> |
| 6.1. OBJETIVOS ALCANZADOS   | 102        |
| 6.2. FUTURAS LÍNEAS DE DESARROLLO   | 103        |



|           |                                   |            |
|-----------|-----------------------------------|------------|
| 6.3.      | NOTAS                             | 104        |
| <b>7.</b> | <b>AGRADECIMIENTOS</b>            | <b>105</b> |
| <b>8.</b> | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> | <b>106</b> |
| <b>9.</b> | <b>APÉNDICES</b>                  | <b>110</b> |
| 9.1.      | ANEXO 1                           | 110        |
| 9.2.      | ANEXO 2                           | 115        |
| 9.3.      | ANEXO 3                           | 121        |
| 9.4.      | ANEXO 4                           | 126        |
| 9.4.1.    | <i>Anexo 4.1</i>                  | 126        |
| 9.4.2.    | <i>Anexo 4.2</i>                  | 127        |
| 9.4.3.    | <i>Anexo 4.3</i>                  | 129        |
| 9.4.4.    | <i>Anexo 4.4</i>                  | 130        |
| 9.4.5.    | <i>Anexo 4.5</i>                  | 132        |
| 9.4.6.    | <i>Anexo 4.6</i>                  | 133        |
| 9.4.7.    | <i>Anexo 4.7</i>                  | 135        |
| 9.4.8.    | <i>Anexo 4.8</i>                  | 136        |
| 9.5.      | ANEXO 5                           | 138        |
| 9.5.1.    | <i>Anexo 5.1</i>                  | 138        |
| 9.5.2.    | <i>Anexo 5.2</i>                  | 142        |
| 9.6.      | ANEXO 6                           | 143        |
| 9.6.1.    | <i>Anexo 6.1</i>                  | 143        |
| 9.6.2.    | <i>Anexo 6.2</i>                  | 166        |
| 9.6.3.    | <i>Anexo 6.3</i>                  | 189        |

## Índice de figuras

**Figura 2.0.1.:** Efectos atmosféricos sobre la radiación solar. Fuente: Energías Renovables, Apuntes UC3M, Pedro Rodríguez.

**Figura 2.1.2.1.:** Movimiento de la Tierra alrededor del Sol. Fuente: An Introduction to Solar Radiation. Muhammad Iqbal, 1983.

**Figura 2.1.3.1.:** Variación de la declinación a lo largo de un año. Fuente: geoscienceenvironment.wordpress.com.

**Figura 2.1.4.1.1.:** Variación anual de la ecuación del tiempo. Fuente: Atlas climático de irradiación solar a partir de imágenes del satélite NOAA, 2005.

**Figura 2.1.4.2.1.:** Zonas y Husos horarios. Fuente: Manual Técnico de Energía Solar Térmica, 2013.

**Figura 2.1.5.1.:** Semiesfera celeste. Fuente: Aplicación robótica de orientación solar, 2012.

**Figura 2.1.5.2.1.:** Duración del día en función de la latitud y el día del año. Fuente: Renewable Energy. A first course, Robert Ehrlich, 2013.

**Figura 2.1.5.2.2.:** Recorrido del Sol en el firmamento para unas latitudes de  $\pm 45^\circ$ . Fuente: Solar Engineering of Thermal Processes, John A. Duffie, William A. Beckman, 1980.

**Figuras 2.3.1. y 2.3.2.:** Evolución de la capacidad instalada de fotovoltaica en Europa. Fuente: Unión Española Fotovoltaica, 2015.

**Figura 3.2.1.:** Croquis del funcionamiento del MBB. Fuente: propia.

**Figura 3.3.1.:** Croquis del funcionamiento del MBB1. Fuente: propia.

**Figura 3.3.2.:** Croquis del funcionamiento del MBB2. Fuente: propia.

**Figura 4.1.1.1.:** Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2005. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf.

**Figura 4.1.1.2.:** Componentes de frecuencia de la serie de diez años (2005-2014) de datos horarios de radiación medidos en Bustillo del Páramo, León. Imagen obtenida a partir de un análisis FFT y generada usando Matlab.

**Figura 4.1.2.1.:** Radiación solar horaria extraterrestre en Sahagún, León. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 4.2.1.:** Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2005. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 4.2.2.:** Componentes de frecuencia de la serie de diez años (2005-2014) de índices de claridad horarios en Bustillo del Páramo, León. Imagen obtenida a partir de un análisis FFT y generada usando Matlab.

**Figura 4.2.3.:** La figura de la izquierda son las componentes de frecuencia de la serie de diez años (2005-2014) de datos horarios de radiación medidos en Bustillo del Páramo, León, eliminando los valores de noche, los ceros. La figura de la derecha son las componentes de frecuencia de la serie de diez años (2005-2014) de índices de claridad horarios en Bustillo del Páramo, León, eliminando los valores de noche, los ceros. Imagen obtenida a partir de un análisis FFT y generada usando Matlab.

**Figura 4.2.4.:** Comparación entre índices de claridad horarios, obtenidos a partir de potencia solar, ajustados con media a diarios y diarios, obtenidos a

*partir de energía solar, para Fiñana, Almería. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.*

**Figura 4.2.1.1.:** *Medias mensuales de los índices de claridad diarios. Fuente: propia, imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.*

**Figura 4.2.1.2.:** *Media de franjas de veintiún días de los índices de claridad diarios. Fuente: propia, imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.*

**Figura 4.2.1.3.:** *Desviaciones típicas mensuales de los índices de claridad diarios. Fuente: propia, imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.*

**Figura 4.2.1.4.:** *Desviación típica de franjas de veintiún días de los índices de claridad diarios. Fuente: propia, imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.*

**Figura 4.2.1.5.:** *Desviación media de franjas de veintiún días de los índices de claridad diarios. Fuente: propia, imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.*

**Figura 4.2.2.1.:** *Medias mensuales de los índices de claridad horarios. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.*

**Figura 4.2.2.2.:** *Media de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.*

**Figura 4.2.2.3.:** *Desviaciones típicas mensuales de los índices de claridad horarios. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.*

**Figura 4.2.2.4.:** *Desviación típica de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.*

**Figura 4.2.2.5.:** *Desviación media de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.*

**Figura 4.3.1.:** *Potencia de una célula PV en función de la tensión de salida para varias temperaturas (The Impact of the Environmental Condition on the Performance of the Photovoltaic Cell, 2016).*

**Figura 4.3.2.:** *Coeficientes  $\beta_0$  Temperatura-Radiación por mes y estación. Fuente: propia, imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.*

**Figura 5.1.1.:** *Índices de claridad de un año sintetizado empleando el MBB1 sobre los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen generada usando contourf de Matlab.*

**Figura 5.1.2.:** *Componentes de frecuencia de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un análisis FFT y generada usando Matlab.*

**Figura 5.1.3.:** *Diagramas de cajas de las medias mensuales y medias de franjas de veintiún días de las diferencias entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Santaella,*

Córdoba, y Carracedelo, León. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

**Figura 5.1.4.:** Diagramas de cajas de la diferencia entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

**Figura 5.1.5.:** Diagramas de cajas de la diferencia entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de años de datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

**Figura 5.1.6.:** Diagramas de cajas, día a día a lo largo del año para una hora determinada, de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Belmez, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

**Figura 5.1.7.:** Diagramas de cajas, hora a hora para un día determinado, de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Belmez, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

**Figura 5.1.8.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Bustillo del Páramo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 5.1.9.:** Diagramas de cajas de las medias y las desviaciones típicas mensuales de los índices de claridad horarios de los datos horarios de Bustillo del Páramo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 5.2.1.:** Índices de claridad de un año sintetizado empleando el MBB2 sobre los datos horarios de Carracedelo, León. Imagen generada usando *contourf* de Matlab.

**Figura 5.2.2.:** Componentes de frecuencia de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Carracedelo, León. Imagen obtenida a partir de un análisis FFT y generada usando Matlab.

**Figura 5.2.3.:** Diagramas de cajas de la diferencia entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

**Figura 5.2.4.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales y medias de franjas de veintiún días de las diferencias entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de los cien años

sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Santaella, Córdoba, y Carracedelo, Leon. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

**Figura 5.2.5.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Bustillo del Páramo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 5.2.6.:** Índices de claridad de un año sintetizado empleando el MBB2 con distintos tamaños de bloque (el número de días que abarca el bloque se indica junto a la gráfica) sobre los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen generada usando `contourf` de Matlab.

**Figura 5.2.7.:** Diagramas de cajas de la diferencia entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con distintos tamaños de bloque (el número de días que abarca el bloque se indica junto a la gráfica) con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

**Figura 5.2.8.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con un tamaño de bloque de cuatro días con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 5.2.9.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con un tamaño de bloque de cinco días con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 5.2.10.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con un tamaño de bloque de seis días con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 5.2.11.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con un tamaño de bloque de siete días con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 5.3.1.:** Índices de claridad de un año sintetizado empleando el MBB3 sobre los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen generada usando *contourf* de Matlab.

**Figura 5.3.2.:** Componentes de frecuencia de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un análisis FFT y generada usando Matlab.

**Figura 5.3.3.:** Diagramas de cajas de la diferencia entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

**Figura 5.3.4.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales y medias de franjas de veintidós días de las diferencias entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Santaella, Córdoba, y Carracedelo, León. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

**Figura 5.3.5.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintidós días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintidós días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Bustillo del Páramo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 5.4.1.:** Diagramas de cajas de las medias de franjas de veintidós días y las desviaciones típicas de franjas de veintidós días de los índices de claridad horarios de los datos horarios de Bustillo del Páramo, León, y de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 y MBB2 con los datos mencionados. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 5.4.2.:** Diagramas de cajas de las medias de franjas de veintidós días y las desviaciones típicas de franjas de veintidós días de los índices de claridad horarios de los datos horarios de Fiñana, Almería, y de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 y MBB3 con los datos mencionados. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 5.4.3.:** Diagramas de cajas de las medias de franjas de veintidós días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos de todas las estaciones. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.1.2.:** Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2006. Imagen generada usando la herramienta de Matlab *contourf*.

**Figura 9.1.3.:** Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2007. Imagen generada usando la herramienta de Matlab *contourf*.

**Figura 9.1.4.:** Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2008. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf.

**Figura 9.1.5.:** Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2009. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf.

**Figura 9.1.6.:** Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2010. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf.

**Figura 9.1.7.:** Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2011. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf.

**Figura 9.1.8.:** Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2012. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf.

**Figura 9.1.9.:** Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2013. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf.

**Figura 9.1.10.:** Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2014. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf.

**Figura 9.2.2.:** Radiación solar horaria extraterrestre en Carracedelo, León. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.2.3.:** Radiación solar horaria extraterrestre en Bustillo del Páramo, León. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.2.4.:** Radiación solar horaria extraterrestre en Fuentidueña de Tajo, Madrid. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.2.5.:** Radiación solar horaria extraterrestre en C. Finca Experimental, Madrid. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.2.6.:** Radiación solar horaria extraterrestre en Aranjuez, Madrid. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.2.7.:** Radiación solar horaria extraterrestre en Santaella, Córdoba. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.2.8.:** Radiación solar horaria extraterrestre en Córdoba, Córdoba. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.2.9.:** Radiación solar horaria extraterrestre en Belmez, Córdoba. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.2.10.:** Radiación solar horaria extraterrestre en Tabernas, Almería. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.2.11.:** Radiación solar horaria extraterrestre en Fiñana, Almería. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.2.12.:** Radiación solar horaria extraterrestre en Almería, Almería. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.3.2.:** Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2006. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.3.3.:** Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2007. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.3.4.:** Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2008. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.3.5.:** Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2009. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.3.6.:** Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2010. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.3.7.:** Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2011. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.3.8.:** Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2012. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.3.9.:** Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2013. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.3.10.:** Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2014. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.

**Figura 9.6.1.1.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Carracedelo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.2.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Sagúhun, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.3.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Aranjuez, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.4.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de C. Finca Experimental, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.5.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Fuentidueña de Tajo, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.6.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Belmez, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



**Figura 9.6.1.7.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Córdoba, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.8.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.9.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Almería, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.10.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Fiñana, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.11.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Tabernas, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.12.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Bustillo del Páramo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.13.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Carracedelo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.14.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Sagúhun, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.15.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones

típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Aranjuez, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.16.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de C. Finca Experimental, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.17.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Fuentidueña de Tajo, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.18.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Belmez, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.19.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Córdoba, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.20.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.21.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Almería, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.22.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Fiñana, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.1.23.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien

años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Tabernas, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.1.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Carracedelo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.2.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Sagúhun, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.3.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Aranjuez, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.4.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de C. Finca Experimental, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.5.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Fuentidueña de Tajo, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.6.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Belmez, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.7.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Córdoba, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.8.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Córdoba, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.9.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Almería, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.10.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Fiñana, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.11.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Tabernas, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.12.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Bustillo del Páramo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.13.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Carracedelo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.14.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Sagúhun, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.15.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Aranjuez, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.16.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de C. Finca Experimental, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.17.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Fuentidueña de Tajo, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.18.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Belmez, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.19.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Córdoba, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.20.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.21.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Almería, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.22.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Fiñana, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.2.23.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Tabernas, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.1.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Carracedelo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.2.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Sagúhun, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.3.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Aranjuez, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.4.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de C. Finca Experimental, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.5.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Fuentidueña de Tajo, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.6.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Belmez, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.7.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Córdoba, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.8.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.9.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Almería, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.10.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Fiñana, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.11.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Tabernas, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.12.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Bustillo del Páramo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.13.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Carracedelo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.14.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Sagúhun, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.15.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Aranjuez, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.16.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de C. Finca Experimental, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.17.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Fuentidueña de Tajo, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.18.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Belmez, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.19.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Córdoba, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.20.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.21.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Almería, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.22.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Fiñana, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Figura 9.6.3.23.:** Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Tabernas, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



## Índice de fórmulas

|             |   |
|-------------|---|
| $G_s$       | Constante Solar (2.1.1)   |
| $\rho^2$    | Factor de corrección de la distancia Tierra-Sol (2.1.2)                                     |
| $\Gamma$    | Ángulo diario (2.1.3)   |
| $G_n$       | Radiación Solar extraterrestre (2.1.4)  |
| $\delta$    | Declinación (2.1.5)   |
| $E_t$       | Variación anual de la ecuación del tiempo (2.1.6)   |
| $H_{solar}$ | Tiempo solar verdadero (2.1.7)  |
| $\omega$    | Ángulo horario (2.1.8)  |
| $\theta_z$  | Ángulo cenital (2.1.9)  |
| $\omega_s$  | Ángulo horario de salida y puesta del Sol (2.1.10)  |
| $DD$        | Duración del día (2.1.11)   |
| $G_0$       | Potencia incidente sobre un plano horizontal (2.1.12)                                       |
| $I_0$       | Energía horaria en función del día del año, la hora solar del día y la latitud (2.1.13)     |
| $H_0$       | Energía diaria en función del día del año, la hora de salida del sol y la latitud (2.1.14)  |
| $kt$        | Índice de claridad (2.2.1)  |
| $kt_i$      | Índice de claridad instantáneo (2.2.2)  |
| $T$         | Temperatura en función de la radiación de las dos horas anteriores (4.3.1)                  |
| $T$         | Temperatura en función de la radiación de las dos horas anteriores y el día del año (6.2.1) |

## Índice de tablas

**Tabla 4.1.:** Nombre y posiciones geográficas de las estaciones de medida.

**Tabla 9.4.1.1.:** Media anual de los índices de claridad diarios por provincias y estaciones.

**Tabla 9.4.2.1.:** Media estacional de los índices de claridad diarios por provincias y estaciones.

**Tabla 9.4.3.1.:** Desviación típica anual de los índices de claridad diarios por provincias y estaciones.

**Tabla 9.4.4.1.:** Desviación típica estacional de los índices de claridad diarios por provincias y estaciones.

**Tabla 9.4.5.1.:** Media anual de los índices de claridad horarios por provincias y estaciones.

**Tabla 9.4.6.1.:** Media estacional de los índices de claridad horarios por provincias y estaciones.

**Tabla 9.4.7.1.:** Desviación típica anual de los índices de claridad horarios por provincias y estaciones.

**Tabla 9.4.8.1.:** Desviación típica estacional de los índices de claridad horarios por provincias y estaciones.

**Tabla 9.5.1.1.:** Coeficientes de estimación, mensuales, de la temperatura en función de la irradiancia una y dos horas antes, para las estaciones de León.

**Tabla 9.5.1.2.:** Coeficientes de estimación, mensuales, de la temperatura en función de la irradiancia una y dos horas antes, para las estaciones de Madrid.

**Tabla 9.5.1.3.:** Coeficientes de estimación, mensuales, de la temperatura en función de la irradiancia una y dos horas antes, para las estaciones de Córdoba.

**Tabla 9.5.1.4.:** Coeficientes de estimación, mensuales, de la temperatura en función de la irradiancia una y dos horas antes, para las estaciones de Almería.

**Tabla 9.5.2.1.:** Coeficientes de estimación, mensuales, de la temperatura en función de la irradiancia una y dos horas antes, para el conjunto de las estaciones de Almería.

# 1. Introducción

El proyecto crea un gran número de series anuales de índices de claridad a partir de una muestra limitada con la finalidad de disponer de una muestra mucho mayor para su análisis. Las conclusiones extraídas al analizar esta nueva muestra son válidas para la muestra de datos originales, permitiendo observar las tendencias anuales.

El trabajo se organiza en cuatro grandes bloques:

1. El bloque inicial trata sobre la radiación solar y se desarrolla en tres apartados. El primero describe el modelo con el que se va a calcular la radiación solar extraterrestre. El segundo presenta el concepto de los índices de claridad. El tercero expone el enorme potencial de la energía solar y la evolución y técnicas para su explotación.

2. El segundo bloque se centra en el Moving Block Bootstrap y tiene un primer apartado en el que se presentan distintas técnicas para analizar series de datos y se argumenta por qué se ha elegido una técnica de remuestreo y en concreto el MBB. El segundo apartado describe en que consiste el MBB. El tercero expone las distintas implementaciones del MBB que van a usarse.

3. En el tercer bloque se analizan los datos y se divide en tres apartados: un primer apartado en el que se presenta la naturaleza de los datos y cómo han sido procesados; un segundo en el que se analizan los valores de los índices de claridad obtenidos; y un tercero en el que se parametriza la temperatura en función de la radiación en las horas anteriores, la ubicación y la época del año.

4. El cuarto bloque son los resultados y se organiza en cuatro apartados, uno para cada implementación del MBB y un cuarto en el que se analizan los resultados.

Finalmente se exponen las conclusiones. Se detalla tanto lo que se ha logrado como lo que no y se mencionan posibles futuras investigaciones y usos de los resultados.

## 1.1. Motivación

Hace una década la inversión en energías renovables tenía como principal objetivo la mitigación de la contaminación derivada de la generación de energía a partir de combustibles fósiles. Pero en la actualidad sus costes han caído tanto que son una opción de generación competitiva sin necesidad de ningún tipo de subvención y especialmente atractiva para países sin recursos fósiles que lograrían una mayor independencia energética; con el enorme ahorro económico que esto supondría para dichos países. Esta nueva realidad ha generado un cambio de óptica sobre las energías renovables, provocando que se dispare la inversión. Ya no sólo es una medida para paliar el cambio climático sino una fuente de negocio muy atractiva. Esto junto a las distintas medidas e inversiones que están llevando a cabo la mayor parte de los países

alrededor del mundo está provocando que la potencia instalada de energías renovables aumente a un ritmo vertiginoso.

Pero las energías renovables no pueden generar energía a petición de la demanda, sino que su capacidad de generación está a merced del recurso natural. Esta limitación hace que no podamos sustituir sin más a la generación basada en combustibles por una basada en energías renovables. En muchos países la electricidad generada a partir de fuentes renovables goza de unos privilegios de acceso al sistema eléctrico que le permite ignorar parcialmente sus problemas de gestionabilidad. No obstante, para el correcto funcionamiento del sistema es necesario mantener en todo momento un equilibrio entre generación y demanda y por tanto es necesario superar dicha limitación a partir del almacenamiento de energía. Los mecanismos de almacenamiento actuales van desde térmico (ejemplo: almacenamiento de calor con sales fundidas en plantas termosolares) a químicos (ejemplo: baterías de gran capacidad) pasando por otros como los volantes de inercia (muy útiles para la regulación primaria y estabilizar la frecuencia), ultracondensadores (útiles tanto para estabilizar la frecuencia como para evitar pérdidas del suministro ante averías imprevistas) o centrales de bombeo (que, aunque en su origen se buscara aprovechar las diferencias de precio en los mercados de electricidad para, a pesar de perder una tercera parte de la energía en el proceso, obtener un beneficio económico, pueden ser claves para almacenar los excedentes de energía producida por fuentes renovables como la eólica). Además, el futuro incremento del almacenamiento y generación de energía a nivel doméstico aportará al sistema eléctrico una configuración radicalmente distinta en la red de media tensión. Dicho almacenamiento y generación distribuidos supondrá una modificación de las curvas de consumo y de precio de los mercados eléctricos. No obstante, para que esta realidad pueda llegar de forma exitosa es necesario disponer de una red inteligente capaz de recopilar, transmitir y procesar enormes volúmenes de información. En última instancia esta evolución permitirá reducir enormemente los sobrecostes del sistema y disminuir el precio de la energía consumida por los usuarios.

El almacenamiento y la predicción de recurso son dos puntos clave para los sistemas eléctricos del futuro, pero actualmente también lo es cuantificar el recurso para ubicar y dimensionar correctamente las futuras instalaciones de generación renovable. Para poder realizar estudios adecuados con este fin es necesario disponer de datos y debido a lo difícil que es encontrar datos de viento a más de tres metros del suelo (lo ideal sería a más de diez para poder hacer las extrapolaciones adecuadas empleando distintos métodos) se optó por hacer los análisis sobre recurso solar, del cual es más sencillo encontrar datos útiles.

En los últimos años el precio de la energía producida con instalaciones fotovoltaicas se ha desplomado. Poniendo el caso de Alemania, el precio ha bajado (para una gran instalación PV) de 0.4 euros/kWh, en 2005, a 0.09 e/kWh en 2014, y aun menor en los últimos años [64]. Es por ello que, a la espera del inminente auge de la FV en nuestro país, es de enorme interés conocer la cantidad de recurso solar del que se va a disponer en cada punto de la geografía española.

## 1.2. Objetivos

El objetivo del proyecto es sintetizar series de índices de claridad horarios para a partir de ellos determinar una cantidad posible de recurso solar en función de la época del año. Los índices de claridad son la relación de la irradiación solar incidente sobre una superficie horizontal situada sobre la tierra dividida entre la radiación que llega a una superficie horizontal situada fuera de la atmósfera. Esta forma adimensional de expresar la radiación solar incidente nos permite buscar relaciones entre distintas ubicaciones geográficas. La razón de que se utilicen datos horarios en lugar de diarios es porque no sólo se busca conocer la distribución del recurso solar a lo largo del año sino también a lo largo del día.

Para obtener la cantidad de radiación solar disponible sobre la tierra bastará con multiplicar los índices de claridad, mencionados en el párrafo anterior, por la radiación solar disponible fuera de la atmósfera para una determinada ubicación y un día concreto del año. Asimismo, se podrán utilizar dichos valores de radiación para calcular series de potencia eléctrica entregada por un conjunto, teórico, de instalaciones fotovoltaicas ubicadas por toda la geografía española peninsular. Aunque no será objeto de este proyecto la creación y estudio de las series de potencia mencionadas bajo modelos con distintos grados de penetración y distribución geográfica de generación eléctrica de origen solar será muy interesante para predecir múltiples escenarios posibles con los que tendrá que lidiar el sistema eléctrico en el futuro y determinar con ello la fiabilidad del sistema bajo estos escenarios (muy interesante analizar la posibilidad de que debido a una generación distribuida determinadas zonas de consumo se conviertan en generadoras, y cómo afectaría eso a la red de media tensión). Además, para ayudar a esta posible labor futura se ha presentado un método con el que calcular la temperatura a partir de la radiación incidente en las dos horas anteriores y la época del año; ya que como se explicará más adelante el rendimiento de la PV es considerablemente dependiente de la temperatura.

Pero la cuantificación y distribución del recurso solar también es útil para el dimensionado y selección de ubicación de futuras plantas PV o termosolares. Una mala previsión de la cantidad de recurso de energía para la ubicación elegida puede derivarse en enormes pérdidas económicas. Por ello, para evitar dichos escenarios, es vital hacer una estimación de recurso lo más realista posible.

## 2. Radiación Solar

Para poder explotar de forma eficiente la energía solar es necesario cuantificarla y conocer la naturaleza de la misma. La cantidad de energía solar que llega a un observador situado en un punto determinado de la superficie de la Tierra varía cada hora. La energía solar es por tanto un recurso variable en el tiempo, además de dependiente de múltiples factores. Como se verá en los próximos apartados, muchas de estas variables pueden explicarse y codificarse con sencillas expresiones matemáticas, aunque no las relacionadas con la climatología, para las que son necesarias las series de datos de radiación horaria.

La radiación solar sobre la superficie de la tierra tiene por tanto dos componentes: una determinada, la radiación solar extraterrestre, y otra variable. Esta segunda es extremadamente difícil de modelar, ya que influyen multitud de variables y por tanto será necesaria una forma de cuantificarla, que se hará utilizando los índices de claridad que se explicaran más adelante. Dicha componente variable explica la atenuación de la radiación extraterrestre en su paso a través de la atmósfera. Al incidir sobre la atmósfera se producen los efectos de refracción (razón por la que clarea antes del amanecer, sigue habiendo luz después del atardecer y se produce el fenómeno de posición aparente del Sol), reflexión (parte de la radiación es reflejada sin llegar a penetrar en la atmósfera), absorción (otra parte de la que sí logra pasar es absorbida, especialmente determinadas longitudes de onda, por algunos de los componentes de la atmósfera, principalmente agua, dióxido de carbono y ozono, excitándolos y en algunos casos, como la formación y descomposición del ozono, haciéndolos reaccionar químicamente) y dispersión (fruto de la interacción con los componentes atmosféricos). De esta manera al observador en tierra le llegará una componente directa de radiación solar y otra componente difusa, en la que se incluye la reflejada por el suelo; siendo en su conjunto menor cantidad de radiación neta que la disponible más allá de la atmósfera [7] & [21].

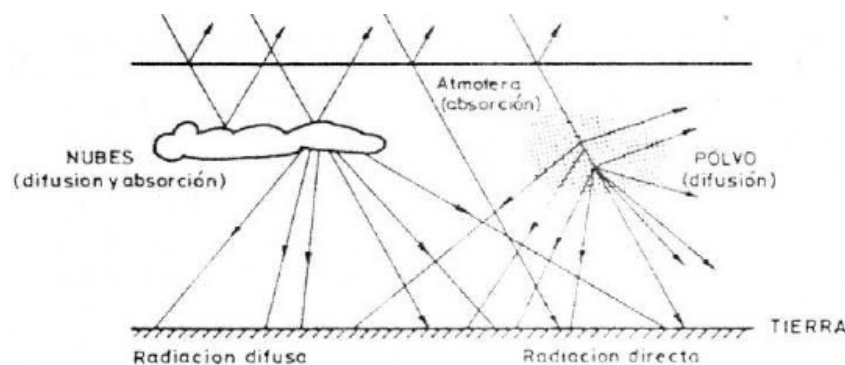


Figura 2.0.1.: Efectos atmosféricos sobre la radiación solar. (Apuntes Energías Renovables)

### 2.1. Radiación solar extraterrestre

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitida por el Sol. Para cuantificarla primero se elaborará un modelo que permita conocer la cantidad de radiación solar extraterrestre incidente sobre un plano horizontal a una hora y día concretos y sobre una posición de la Tierra dada.

### **2.1.1. Constante solar**

La vida en nuestro mundo se sustenta de la energía que llega del Sol en forma de radiación. La radiación que llega a la Tierra no es constante y se analiza el origen de la energía solar ésta tampoco es constante.

El Sol es una enorme esfera de materia gaseosa incandescente en la que se producen constantemente reacciones nucleares de fusión de hidrógeno en helio, y la diferencia másica se convierte en energía. Por tanto, el Sol emite constantemente estos excedentes de energía en forma de radiación. De por sí, esto ya incita a pensar que la radiación emitida por el sol no puede ser constante; y, efectivamente, no lo es, sino que sufre fluctuaciones caóticas a muy pequeña escala de forma continua y oscilaciones periódicas o ciclos de actividad cada determinados periodos de años. Las primeras son insignificantes frente a los valores de radiación que llegan a la Tierra, y en cuanto a las segundas el ciclo más pequeño (11 años) no alcanza una fluctuación del 0,1% por lo que es más que razonable considerar a niveles prácticos la radiación emitida por el sol constante [7]&[5].

La constante de radiación solar que se va a emplear es la adoptada por el World Radiation Center (WRC), y posee un error del 1%:

$$G_s = 1367 \text{ W/m}^2 \quad (2.1.1)$$

### **2.1.2. Distancia tierra sol**

Lo dicho anteriormente no significa que la radiación solar que llega a la Tierra sea constante. La Tierra gira alrededor del Sol en una órbita elíptica, con el Sol ubicado en uno de sus focos. Esto implica que la distancia al Sol es variable a lo largo del año y por lo tanto también lo será la radiación solar que llega a la Tierra. La radiación emitida por el Sol se va atenuando según tiene que abarcar un área mayor por lo que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Por ello es necesario tener un valor preciso de la distancia Tierra-Sol en función del día del año, o por lo menos una expresión que contenga la variación de ésta [5].

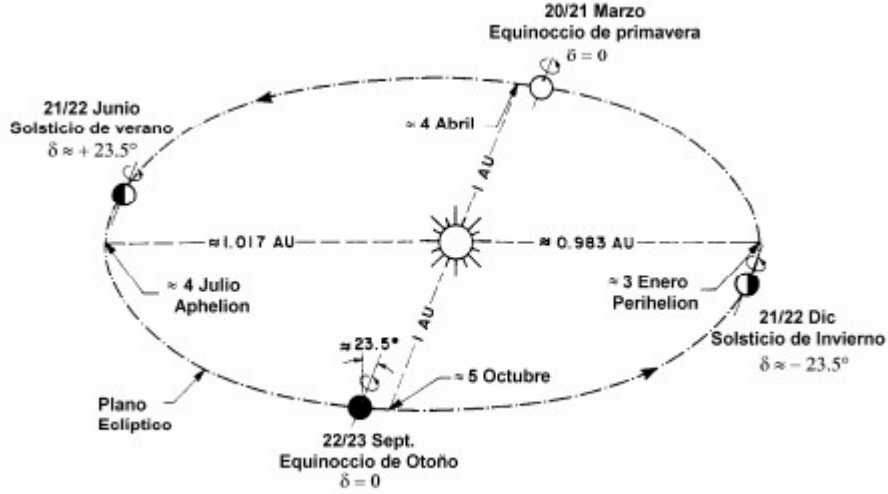


Figura 2.1.2.1: Movimiento de la Tierra alrededor del Sol. (Iqbal, 1983)

Se puede cuantificar dicha variación a través de una expansión en términos de serie de Fourier con un número determinado de coeficientes. Esta expresión ha sido desarrollada por Spencer (1971) para definir el Factor de corrección de la distancia Tierra-Sol ( $\rho^2$ ), y posee un error máximo de 0,0001 [8]:

$$\rho^2 = (1.000110 + 0.034221 \cos(\Gamma) + 0.001280 \operatorname{sen}(\Gamma) + 0.000719 \cos(2\Gamma) + 0.000077 \operatorname{sen}(2\Gamma))^{-1} \quad (2.1.2)$$

Donde  $\Gamma$  (en radianes) es el ángulo diario y se define como:

$$\Gamma = \frac{2\pi}{365} (d - 1) \quad (2.1.3)$$

Donde  $d$  corresponde al número del día juliano del año ( $1 \leq d \leq 365$ ).

No obstante, la expresión de Duffie y Beckman (1980) es la más extendida, y ampliamente utilizada para diversas aplicaciones de ingeniería, por su simplicidad y considerable precisión [7]:

$$\rho^2 = (1 + 0.033 \cos(\frac{2\pi d}{365}))^{-1}$$

Donde el 0.033 viene de la diferencia entre la distancia máxima y la mínima Tierra-Sol dividida entre la distancia media. Aun así, dado que no supone un elevado consumo computacional, para el proyecto se ha elegido la ecuación de Spencer, ya que es más precisa.



Con esto la radiación solar extraterrestre en función del día del año quedaría como [8] & [7]:

$$G_n = G_s / \rho^2 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (2.1.4)$$

### 2.1.3. Declinación

En este punto se describirá cómo incide sobre la Tierra la radiación solar, la cual se va a considerar como un haz de rayos paralelos. Lo primero a tener en cuenta es que la tierra también rota sobre sí misma, y su eje está inclinado  $23.45^\circ$  respecto a la normal al plano que contiene su órbita alrededor del Sol. Dicha inclinación da lugar a las estaciones. Se llama declinación ( $\delta$ ) al ángulo que forman el plano ecuatorial y la línea que une los centros del Sol y la Tierra. Dicho ángulo varía constantemente a lo largo del año entre  $+23.45^\circ$ , solsticio de verano, y  $-23.45^\circ$ , solsticio de invierno [5].

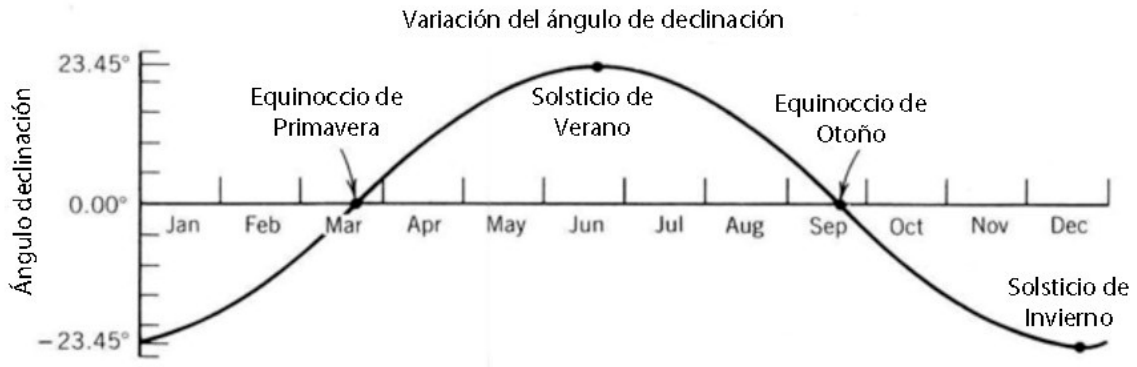


Figura 2.1.3.1.: Variación de la declinación a lo largo de un año.  
(geoscienceenvironment.wordpress.com)

Para determinar la declinación se ha usado la expresión en términos de serie de Fourier desarrollada por Spencer (1971), y posee un error máximo de 0.0006 radianes [8]:

$$\delta = 0.006918 - 0.399912 \cos(\Gamma) + 0.070257 \text{ sen}(\Gamma) - 0.006758 \cos(2\Gamma) + 0.000907 \text{ sen}(2\Gamma) - 0.002697 \cos(3\Gamma) + 0.00148 \text{ sen}(3\Gamma) \quad (2.1.5)$$

Cuyas unidades vendrán dadas en radianes. Aunque existen otras dos expresiones más sencillas que alcanzan bastante precisión, tras simular con el ordenador las radiaciones horarias, se comprueba que la propagación de errores de estas es mayor que en la fórmula de Spencer, además de que muestran problemas de continuidad a nivel horario. Por lo que se ha optado por la expresión de Spencer frente a la fórmula de Cooper (1969) [10] & [12]:

$$\delta = 23.45 \text{ sen}\left(\frac{360}{365} (d + 284)\right)$$

O la de Perrin de Brichambaut (1975) [11]:

$$\delta = \text{sen}^{-1}\left(0.4 \text{sen}\left(\frac{360}{365} (d - 82)\right)\right)$$

Las cuales dan la declinación en grados.

#### 2.1.4. Hora solar

Un día solar es el intervalo en el cual el Sol completa un ciclo de su movimiento aparente visto por un observador desde una posición fija de la tierra. Pero el intervalo entre, por ejemplo, un medio día solar y el siguiente medio día solar no es necesariamente de veinticuatro horas. Además, será necesario explicar la correlación entre las horas de Sol y el sistema horario con el que se organiza nuestra sociedad.

##### 2.1.4.1. Ecuación del tiempo

El día solar medio corresponde exactamente a veinticuatro horas, pero el día solar real varía a lo largo del año. Cuando se mencionó la órbita elíptica que describe la Tierra alrededor del Sol se habló de la variación de la distancia, ahora se va a tratar el tema de la variación de velocidad. De acuerdo con la segunda ley de Kepler, en su movimiento alrededor del Sol, la Tierra debe barrer áreas iguales en mismos periodos de tiempo. Esto significa que recorre diferentes distancias y que por tanto su velocidad varía a lo largo del año. Esta diferencia de velocidad tiene como consecuencia una ralentización y aceleración sobre la velocidad de giro de la tierra vista desde el Sol. Para tratar este hecho se definirá el concepto de día solar. Un día solar es el intervalo de tiempo que tarda el Sol en completar un ciclo alrededor de un observador estacionario sobre la superficie de la tierra. Pero dicho día solar variará a lo largo del año y por tanto no podremos tomarlo como unidad. Para ello establecemos el día solar medio, que será el día solar que tendríamos si la órbita alrededor del Sol fuera una circunferencia y por tanto no existieran variaciones de velocidad. Y ahora para unir ambos definimos la ecuación del tiempo que es la diferencia entre ambos. Existen numerosas formulas, gráficas y algoritmos, pero la que se ha elegido utilizar es la de Spencer (1971), que posee un error máximo de 0.0025 radianes, equivalente a unos 35 segundos [8] & [12]:

$$E_t = 229.18 (0.000075 + 0.001868 \cos(\Gamma) + 0.032077 \text{sen}(\Gamma) - 0.014615 \cos(2\Gamma) - 0.04089 \text{sen}(2\Gamma)) \quad (2.1.6)$$

Cuyas unidades vendrán en minutos. En realidad, la ecuación lo calcula en radianes y el primer término es para convertirlo en minutos. Este coeficiente no es intuitivo y es conveniente explicarlo: el Sol visto desde la Tierra tarda 4 minutos en recorrer un grado en el firmamento, por tanto  $4 \text{ min}/^\circ \frac{360^\circ}{2\pi} = 229.18$ .

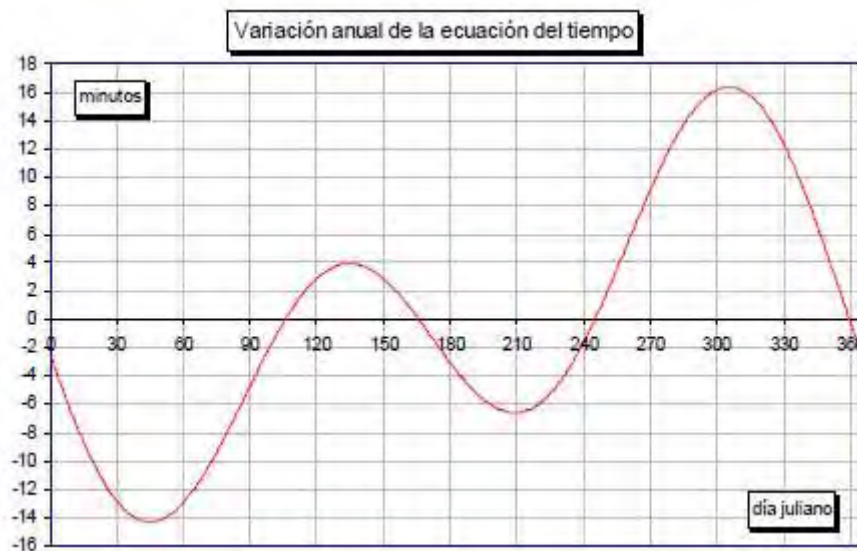


Figura 2.1.4.1.1.: Variación anual de la ecuación del tiempo. (Atlas climático de irradiación solar a partir de imágenes del satélite NOAA, 2005)

#### 2.1.4.2. Tiempo solar verdadero

La hora local estándar es la misma para todas las longitudes dentro de un mismo huso horario. Esto es necesario para coordinar el funcionamiento de la sociedad, pero supone una discretización de la diferencia horaria a lo largo del planeta. Al desplazarse múltiplos enteros de  $15^\circ$  ( $24 \text{ h}/360^\circ$ ) longitudinalmente, respecto al meridiano de referencia o de Greenwich, se sumará o restará ese entero de horas. Pero la hora solar evoluciona de forma continua por lo que basta que un observador esté ligeramente alejado de la longitud de referencia horaria para que el error respecto a la hora solar sea enorme. Por ello hace falta hacer una serie de ajustes para encajar ambas. Esto es especialmente importante para ajustar los datos de radiación solar extraterrestre a generar con los datos medidos en las estaciones meteorológicas, almacenados con hora local.

Para realizar esta conversión es necesario conocer el huso horario de la zona en consideración. En España peninsular el huso horario es 0 pero en su lugar usamos +1 en invierno y +2 en verano (UTC).

$$H_{solar} = H_{local} + 4 (\text{min}/^\circ) (L_s - L_e) + E_t \quad (2.1.7)$$

Siendo  $L_s$  la longitud estándar (meridiano central del huso horario) y  $L_e$  la longitud local. La corrección aportada por este término es positiva si el meridiano local está al este del meridiano estándar y negativo si está al oeste [9] & [3].



Figura 2.1.4.2.1. Zonas y Husos horarios. (Manual Técnico de Energía Solar Térmica)

## 2.1.5. Posición del Sol respecto a un observador en tierra

La posición del Sol respecto a un observador en tierra puede determinarse a partir de la latitud del observador, el día del año y la hora. Además es imprescindible hacer uso de una serie de ángulos para ubicarlo en el cielo.

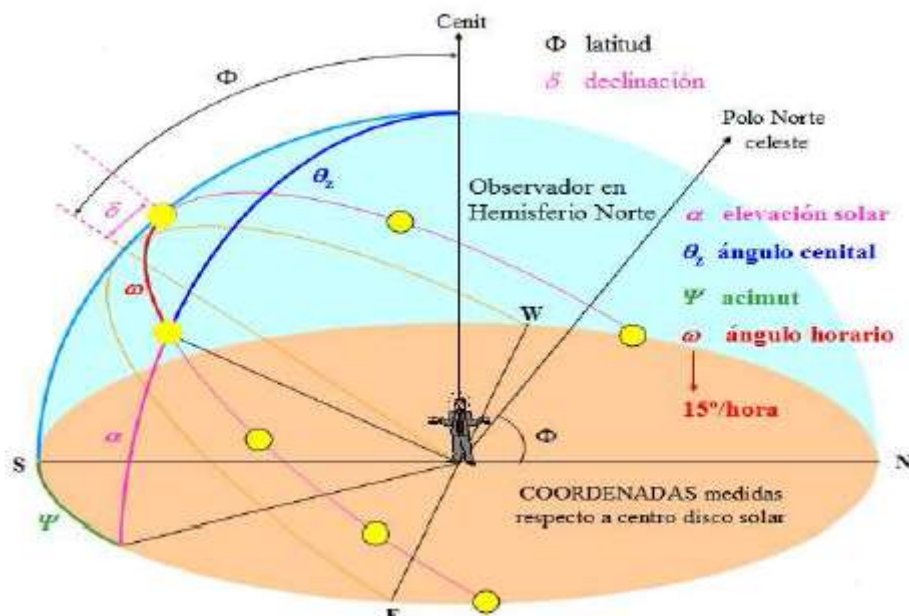


Figura 2.1.5.1.: Semiesfera celeste. (Aplicación robótica de orientación solar, 2012)

### 2.1.5.1. Ángulo horario

El ángulo horario ( $\omega$ ) se usa para describir el desplazamiento angular del Sol. Éste es el ángulo formado entre dos planos que contienen al eje de la tierra, uno que determina nuestra posición local (pasa por el meridiano local; posición del mediodía solar, cenit) y otro que pasa por el Sol en todo momento. Por lo tanto, en la primera mitad del día será negativo, será 0 cuando el Sol esté en su cenit y positivo la segunda mitad del día.

Se relaciona con la hora solar a través de la expresión [4]:

$$\omega = (H_{solar} - 12) 15 (^{\circ}/h) \quad (2.1.8)$$

### 2.1.5.2. Ángulo cenital

El ángulo cenital es el ángulo que necesitamos para situar al Sol en el firmamento respecto a la normal del plano horizontal. Al ángulo que forman la línea que une al observador con el Sol y la línea que une al observador con el horizonte perpendicular al Sol se le denomina altura solar ( $\alpha_s$ ). Dicho ángulo es el complementario del ángulo cenital ( $\theta_z$ ). Para calcular el ángulo cenital se necesita la latitud geográfica ( $\Phi$ ), la declinación ( $\delta$ ) y el ángulo horario ( $\omega$ ) [4] & [7]:

$$\cos(\theta_z) = \cos(\omega) \cos(\delta) \cos(\Phi) + \sin(\delta) \sin(\Phi) \quad (2.1.9)$$

Éste es el ángulo de incidencia de la radiación solar respecto a un plano horizontal. Además, se puede utilizar la expresión para determinar el ángulo horario de salida y puesta del Sol a través de  $\theta_z = 90^{\circ}$ :

$$\cos(\omega_s) = -\tan(\delta) \tan(\Phi) \quad (2.1.10)$$

A esta expresión se le puede añadir un término para considerar los efectos del crepúsculo, en donde se hace más relevante la diferencia entre posición aparente y real del Sol:

$$\cos(\omega_s) = (\sin(-0.833) - \sin(\delta) \sin(\Phi)) / (\cos(\delta) \cos(\Phi))$$

También se puede considerar el efecto de la altitud relativa con respecto al entorno y añadir más términos a la expresión junto con el concepto de ángulo de elevación. Pero dada la naturaleza del proyecto las discordancias entre radiación extraterrestre y medida en torno al crepúsculo, las cuales generarán índices de claridad superiores a los que cabría esperar, pueden ignorarse (la radiación a esas horas es muy pequeña).

A su vez conociendo el ángulo horario de salida del Sol se puede determinar la duración del día (número de horas de Sol; DD):

$$DD = \frac{2 \omega_s}{15 (^{\circ}/h)} \quad (2.1.11)$$

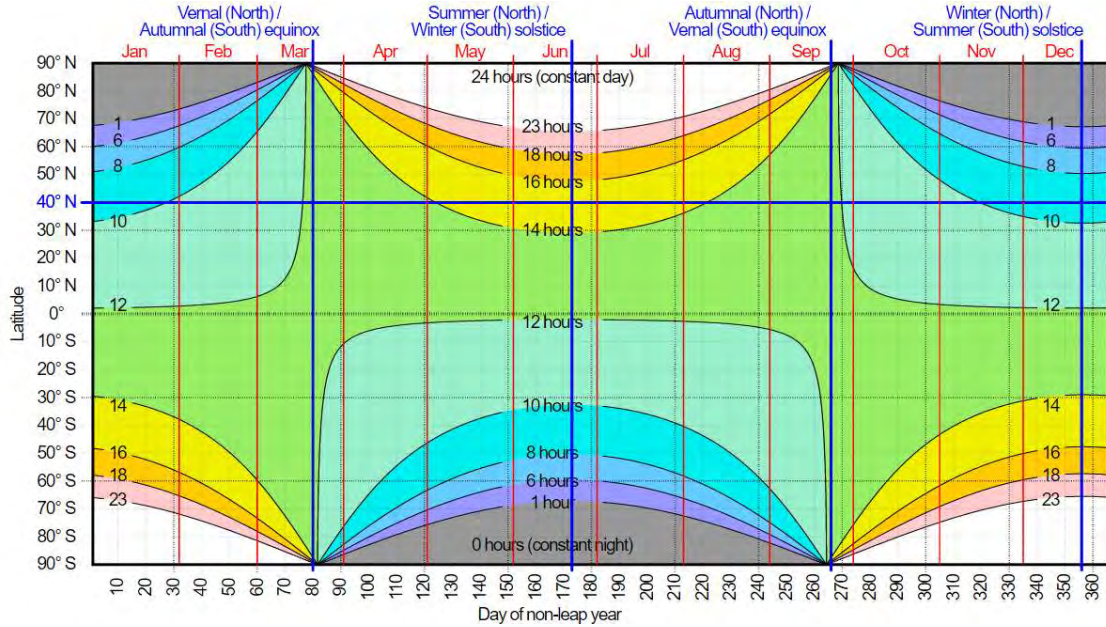


Figura 2.1.5.2.1.: Duración del día en función de la latitud y el día del año. (Renewable Energy, 2013)

La diferencia de horas de Sol entre uno o varios días consecutivos se puede calcular fácilmente de la ecuación anterior como:

$$DD_{n+7} - DD_n = (\omega_{s\ n+7} - \omega_{s\ n}) 8 \text{ (min/}^{\circ}\text{)}$$

Que sería la diferencia de minutos en una semana. Para el caso de Madrid (Latitud:  $\Phi = +40.42^{\circ}$ ) la diferencia es de unos 6.5 minutos más o menos de Sol. Y para un mes la diferencia sería de 46 minutos, ya que el incremento no es homogéneo. Esto será importante tenerlo en cuenta más adelante a la hora de seleccionar la distancia entre dos días consecutivos máxima, ya que no tendría sentido que hubiera una hora más de luz entre un día y el siguiente [6].

Otro ángulo de interés es el ángulo azimutal; el cual es la proyección del ángulo horario sobre la horizontal. Este ángulo se puede calcular a partir de una combinación del ángulo horario, la declinación y el ángulo cenital [5] & [9]:

$$\cos(\psi) = \frac{\cos(\theta_z) \sin(\Phi) - \sin(\delta)}{\sin(\theta_z) \cos(\Phi)}$$



Y para determinar el signo basta con tener en cuenta que es el mismo que el del ángulo horario.

En todo momento vamos a referir los cálculos a una superficie horizontal por lo que el ángulo azimutal no va a usarse.

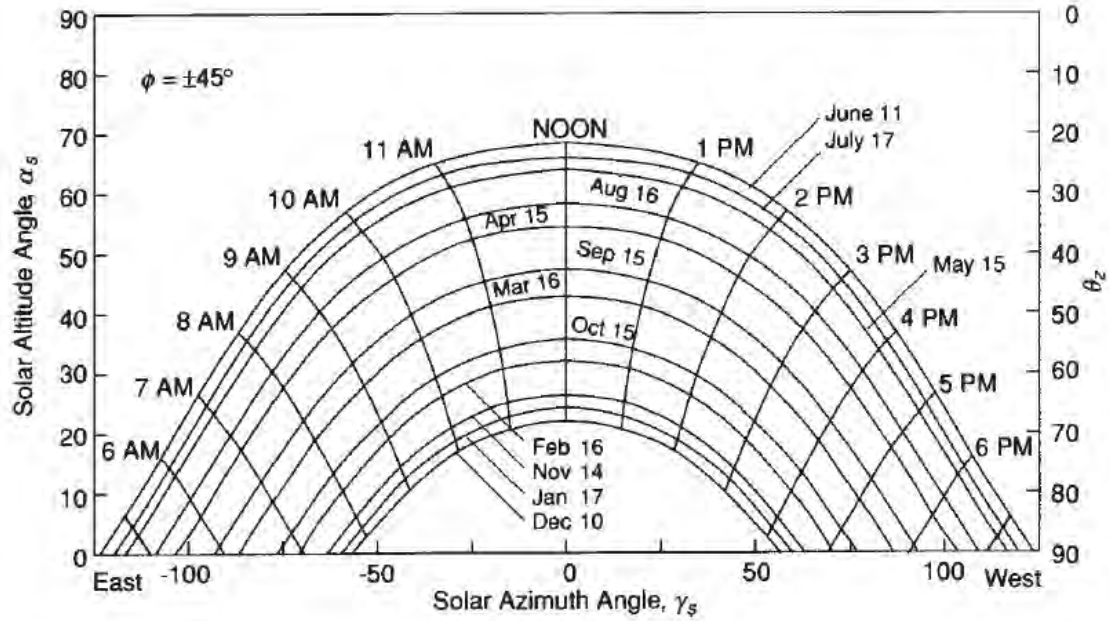


Figura 2.1.5.2.2.: Recorrido del Sol en el firmamento para unas latitudes de  $\pm 45^\circ$ . (Solar Engineering of Thermal Processes, 1980)

## 2.1.6. Irradiancia extraterrestre sobre un plano horizontal

Para calcular esta magnitud, primero se calcula la potencia por área incidente sobre un plano horizontal ( $W/m^2$ ):

$$G_0 = G_n \cos(\theta_z) \quad (2.1.12)$$

Después se integra esta expresión entre  $\omega$  y  $\omega + 15^\circ$  (una hora) para obtener la energía incidente sobre un plano horizontal en una hora ( $J/m^2$ ):

$$dG_0 = G_n \cos(\theta_z) dt$$

$$dt = \left(\frac{12}{\pi}\right) d\omega \quad (15^\circ/h) = \frac{\pi}{12} \text{ (rad/h)}$$

Y en s quedaría:  $dt = 3600 \left(\frac{12}{\pi}\right) d\omega \quad (1 \text{ h} = 3600 \text{ s})$

$$I_0 = 3600 \left(\frac{12}{\pi}\right) G_n \int_{\omega}^{\omega+15} (\cos(\omega) \cos(\delta) \cos(\Phi) + \sin(\delta) \sin(\Phi)) d\omega$$

$$I_0 = 3600 \left( \frac{12}{\pi} \right) G_n \left( \left( \frac{\pi}{12} \right) \sin(\delta) \sin(\Phi) + \cos(\omega) \cos(\delta) \left( \sin \left( \omega + \frac{\pi}{12} \right) - \sin(\omega) \right) \right) \quad (2.1.13)$$

Siendo  $I_0$  la energía solar incidente horaria en función del día del año, la hora solar del día y la latitud [4].

Si se quisiera calcular la radiación extraterrestre diaria ( $H_0$ ) incidente sobre un plano horizontal bastaría con poner en los límites de integración el ángulo de salida ( $\omega_s$ ) y puesta del Sol (o uno de ellos y 0 y multiplicarlo por 2).

$$H_0 = 3600 \left( \frac{12}{\pi} \right) G_n 2 \int_0^{\omega_s} (\cos(\omega) \cos(\delta) \cos(\Phi) + \sin(\delta) \sin(\Phi)) d\omega = 3600 \left( \frac{12}{\pi} \right) G_n 2 (\sin(\omega_s) \cos(\delta) \cos(\Phi) + \omega_s \sin(\delta) \sin(\Phi)) \quad (2.1.14)$$

## 2.2. Índices de claridad

Los niveles de radiación diaria varían considerablemente en pocos días. Por ello para poder intercambiar dos días y que dichos datos de radiación sean posibles para ese día del año sería necesario que estuvieran muy próximos. La naturaleza del método utilizado, el MBB, necesita intercambiar los datos de posición por lo que una limitación así haría inviable su aplicación.

Es por esa razón que durante el proyecto se va a hacer uso de índices de claridad ( $kt$ ) en lugar de datos de radiación. Los índices de claridad son la relación de la irradiación solar incidente sobre una superficie horizontal situada sobre la tierra dividida entre la radiación que llega a una superficie horizontal situada fuera de la atmósfera; por tanto, son una forma adimensional de expresar la radiación solar incidente. Los índices de claridad permiten cuantificar en por uno cuanta radiación llega a la superficie de la disponible más allá de la atmósfera. Esto hace que sea factible, a través de un índice de claridad posible para un día y hora dados, calcular la radiación solar disponible a partir de la radiación solar extraterrestre [9].

$$kt = I_{terrestre} / I_{extraterrestre} \quad (2.2.1)$$

Los índices de claridad pueden ser horarios ( $kt_h$ ) o diarios ( $kt_d$ ) en función del tipo de dato de irradiancia que se use. Además, a lo largo del trabajo también vamos a hacer uso de índices de claridad instantáneos ( $kt_i$ ) que usan la potencia en lugar de la irradiancia.

$$kt_i = G_{terrestre} / G_{extraterrestre} \quad (2.2.2)$$



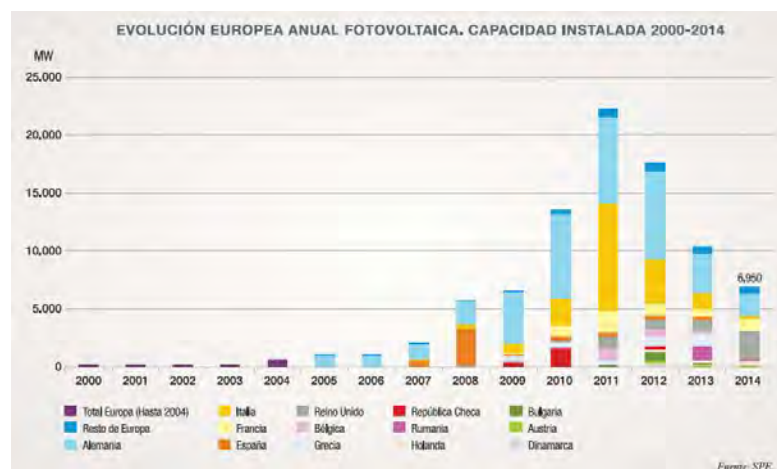
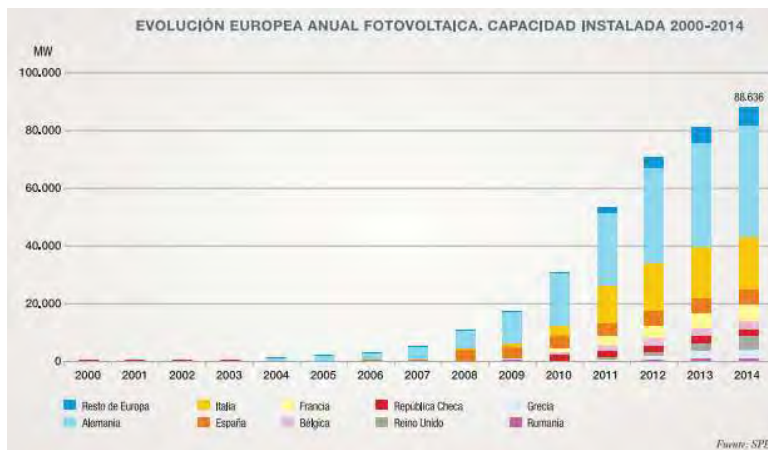
### 2.3. Energía solar

El objetivo del proyecto consiste en, partiendo de series de datos de radiación medidos simultáneos para distintas ubicaciones, crear series sintéticas a partir de colocar dichos datos en distinto orden, pero haciéndolo conjuntamente para todas las ubicaciones. Al aplicar el método a todas las estaciones simultáneamente se preserva la relación climática en distintos puntos de la península para un día dado, lo que da enorme riqueza a cada día de los datos. De esta forma se puede estudiar la cantidad y forma del recurso solar en toda la península simultáneamente. Esto permite hacer estudios de viabilidad, de dimensionado de las instalaciones, de elección de ubicación para una gran instalación o plantear escenarios de la energía volcada a la red por un modelo de gran cantidad de potencia PV distribuida. En el apartado de datos utilizados se estudiará la dependencia climática de las distintas ubicaciones y se discutirá si los datos con los que se ha trabajado son suficientes para determinar si se puede considerar la península como una unidad climática (significando esto que el clima en toda la península evolucione conjuntamente al entrar distintos frentes temporales), si por el contrario sus distintas regiones son independientes entre sí (un determinado frente temporal entra y sale o desaparece afectando sólo a una parte de la geografía), o , aunque no sean una unidad climática, si existe un considerable grado de dependencia.

Las tecnologías de aprovechamiento solar existentes se dividen en dos grandes familias: solar térmica y solar fotovoltaica (PV). La primera hace uso de la radiación para generar energía térmica que puede ser de baja, media o alta temperatura, haciendo uso de concentradores para aumentar la temperatura de trabajo. Sus aplicaciones van desde calentar el agua caliente sanitaria (ACS) o climatización (calefacción y/o refrigeración) a generación eléctrica, pasando por diversos usos industriales como la extracción de petróleo a partir de vapor. Tanto a nivel doméstico como industrial es una piedra angular que reduce enormemente el consumo energético de otros procesos. La segunda, la fotovoltaica, transforma directamente la radiación solar en energía eléctrica a través de la excitación de los electrones de un dispositivo semiconductor, generando así una pequeña diferencia de potencial.

La solar fotovoltaica ha experimentado en la última década un enorme crecimiento de potencia instalada en el mundo. Este crecimiento se ha debido a tres factores. El primero, que es el que abre las puertas a los otros dos, es el abaratamiento de las células PV y el grado de madurez que ha alcanzado la tecnología; esto ha permitido a la solar fotovoltaica irse abriendo paso en el mercado como una tecnología competitiva. El segundo son las decisiones políticas. Los estados han participado de forma directa a través de subastas de capacidad y/o de forma indirecta a través de privilegios de conexión, pago por generación y/o tarifas de precio fijado de venta de la energía en el mercado eléctrico. El tercero es la inversión ciudadana en sus propios hogares. Ya sea con el objetivo económico de reducir su factura eléctrica o ideológico de reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera y atenuar la dependencia energética de los hidrocarburos. Este último punto está muy ligado al anterior, ya que el estado juega un papel vital al ser el encargado de crear el marco regulatorio en el que pueda crecer la inversión ciudadana mencionada. Con todo ello se empieza a dibujar un futuro en el que la generación distribuida de base renovable cobrará más y más relevancia [13] & [14]. Esto supone la necesidad por parte del sistema eléctrico de

afrontar nuevos retos como son enfrentarse a flujos de energía para los que no está diseñado. Este es el caso de Italia, en cuya red de transporte la energía siempre ha fluído de norte a sur, estando diseñada la configuración de protecciones acorde a ello, y que ahora tiene que enfrentarse a momentos en los que la energía fluye en sentido inverso fruto de la enorme capacidad PV que se ha instalado en el sur. Otro ejemplo es el caso de Alemania, en cuya red de distribución hay conectada tanta capacidad PV de pequeña escala (techos y pequeños huertos solares) que en un día soleado la generación distribuida es tan grande que se producen flujos de energía en sentidos erráticos. Esto crea diversos problemas en la red de media tensión por no estar el sistema eléctrico diseñado para las situaciones a las que actualmente se está enfrentando.



*Figuras 2.3.1. y 2.3.2.: Evolución de la capacidad instalada de fotovoltaica en Europa (UNEF, 2015)*

También mencionar que el abaratamiento de las baterías supone un hito en el desarrollo de la PV, ya que permite gestionar la energía obtenida y adecuarla a la demanda. Ahora los principales factores limitantes son legislativos. Es esencial crear un marco regulatorio que reconozca el almacenamiento distribuido (basado en equipos domésticos) como un activo que puede tanto inyectar como absorber electricidad de la red (supondría disponer de un mecanismo para corregir los desequilibrios instantáneos, entre generación y demanda, del sistema aún más rápido que la regulación primaria;

sería similar al Enhanced Frequency Response que entrará en funcionamiento en Julio de 2017 en Reino Unido, con la salvedad de que estaría formado por una infinidad de agentes en lugar de unos pocos). Además, para que el Operador del Sistema pueda utilizar esta capacidad de almacenamiento distribuida será esencial que disponga tanto de una gran cantidad de información y capacidad para procesarla constantemente como de telecontrol del flujo en estos puntos de acceso (esto debe poder funcionar tanto a nivel local, controlado por los sistemas de distribución, como a nivel de todo el sistema, controlado por los sistemas de transporte, siendo esencial una rápida y efectiva comunicación entre ambos). Sin duda supondrá un rediseño del sistema en su forma de funcionar, afrontar incidencias, planificar la cantidad y naturaleza de la potencia necesaria para su correcto funcionamiento, la forma de regularlo y la retribución de la energía (es crucial reformar el funcionamiento del mercado y en especial de los mercados intradiarios) y de los servicios auxiliares (debe recompensarse adecuadamente el papel que desempeñaría el almacenamiento distribuido). También mencionar que sería justo permitir a los consumidores el intercambiar de electricidad a escala comunitaria mediante sistemas colectivos de autoconsumo, gestionados mediante centrales virtuales. Finalmente indicar que la transparencia y el acceso a los datos sería fundamental para que se desarrollasen de manera proactiva innovaciones en el diseño y en la operación de la red.

### 3. Moving Block Bootstrap

El método denominado Moving Block Bootstrap (MBB) es una técnica de remuestreo consistente en crear series nuevas de valores de una variable a partir de series de valores medidos de dicha variable. Para ello se fraccionan las series medidas, de ocho mil setecientos sesenta u ocho mil setecientos ochenta y cuatro valores horarios (en función de si el año es bisiesto o no) para el caso del proyecto, en bloques de conjuntos de datos del mismo tamaño; divididos en subgrupos diarios de veinticuatro datos horarios y agrupados en bloques de varios días de datos (por ejemplo: para bloques de tres días se cogen conjuntos de setenta y dos valores). Estos bloques se combinarán entre sí de forma aleatoria colocando uno a continuación de otro hasta tener una serie del mismo tamaño que las originales. Para que las series creadas tengan las mismas propiedades que las originales, es necesario elegir adecuadamente la duración del bloque y establecer las condiciones para que dos ventanas puedan disponerse consecutivamente o no. De esta forma, a partir de varias series de datos anuales se pueden construir series sintéticas correspondientes a un número arbitrario de años; tan elevado como se desee o permita el tamaño de la muestra sin generar redundancia en las series sintéticas. Los resultados se podrán emplear en estudios que utilizan el método de Monte Carlo, ya que este requiere una gran cantidad de series.

El MBB tiene el inconveniente de que las series sintéticas no presentarán valores que no aparezcan en las series originales ya que no genera ningún valor nuevo. Esto significa que no creará ningún escenario que no haya sido registrado en los datos medidos. Es por ello que para poder aplicar el MBB necesitamos un número suficiente de años que contengan gran variabilidad y numerosos fenómenos atípicos.

En este trabajo se quieren establecer las bases para poder estudiar los distintos escenarios a los que se enfrentarán los sistemas eléctricos actuales al aumentar la aportación de energía de base fotovoltaica. Esto significa que en este trabajo no se busca predecir de cuánto recurso solar va a disponer una determinada región hora a hora con un horizonte temporal de uno o varios días en adelante (no se pretende crear modelos predictivos); sino cuantificar la cantidad y variabilidad del recurso solar real región por región y en especial en su conjunto de forma simultánea.

El estudio se ha particularizado para el sistema eléctrico español, que es el sistema sobre el que se quiere hacer el análisis, y se han tomado datos puntuales, sobre los que se discutirá en el punto 4.

#### 3.1. Bootstrap o estimación autosuficiente y MBB

Existen multitud de técnicas de remuestreo, como pueden ser el método Jackknife, Bootci o el Subsampling, pero se ha escogido la variante del Bootstrap aplicada a series temporales con dependencia de datos MBB por los buenos resultados obtenidos en estudios hidrológicos y de series de potencia [29]. El método Bootstrap es una sencilla técnica para simular distribuciones de probabilidad empíricas de cualquier

estadístico, sin hacer ninguna suposición ni estimar ningún parámetro, a través de reconstruir N muestras con remplazos de los datos originales, de las que se pueden extraer N estimaciones del estadístico elegido. La clave del método es que las propiedades de las muestras generadas, así como las distribuciones de probabilidad de los estadísticos, pueden estudiarse y los resultados obtenidos aplicarse a las muestras originales. Para obtener las réplicas de las muestras se aplica el método de Montecarlo. Para ello se seleccionarán muestras aleatorias de la población mediante números aleatorios.

El MBB es un método con un funcionamiento no paramétrico. Utiliza directamente los mismos tipos de datos que se busca generar, y no toma en consideración series de datos asociadas a estos. No busca crear un modelo con el cual a partir de unas entradas obtengamos el valor buscado sino, utilizando series conocidas, crear nuevas series de datos. Esto supone que, si la muestra de datos presenta una estructura dependiente de variables conocidas o desconocidas, basadas en la situación del día o días anteriores, no la respetará. A primera vista esto plantea una incompatibilidad con los datos de series de índices de claridad horarios los cuales, entre otras, tienen una fuerte dependencia estacional. No obstante, podemos reproducir dicha dependencia a través de la limitación de la franja de selección de las muestras, con lo que se mantiene la dependencia estacional. Anteriormente se ha mencionado como debido a la variación de horas de luz diarias a lo largo del año no se podían rellenar los índices de claridad de un día con la muestra de datos de otro demasiado alejado; lo cual es otro factor limitante en los posibles días a seleccionar durante el remuestreo. De hecho, se intentó normalizar los datos utilizando varios métodos (basados en estandarizar la longitud del día y posteriormente reconstruirlo en función del día del año) pero siempre se distorsionaba la muestra de datos y en la fase de reconstrucción en realidad se acababa modelando el día utilizando un conjunto de parámetros. Una normalización sin alterar la forma de los datos habría sido lo ideal para poder remuestrear cogiendo cualquier día del año (procedimiento mucho más fiel al MBB) pero con ello se presentaría el problema de la dependencia estacional y se tendría que recurrir a combinarlo con algún método paramétrico.

Más adelante se explicará la importancia de la elección del tamaño de la porción de la muestra (número de días hacia adelante y hacia atrás respecto al día a rellenar en la serie generada) de la que seleccionar de forma aleatoria el remplazo. También se mostrarán los resultados del estudio paramétrico de los datos y los motivos por los que se descarta una combinación del método MBB con ajustes, a partir de los residuos, de métodos paramétricos.

### **3.2. Algoritmo MBB**

El algoritmo del MBB es sencillo y consiste en los siguientes pasos:

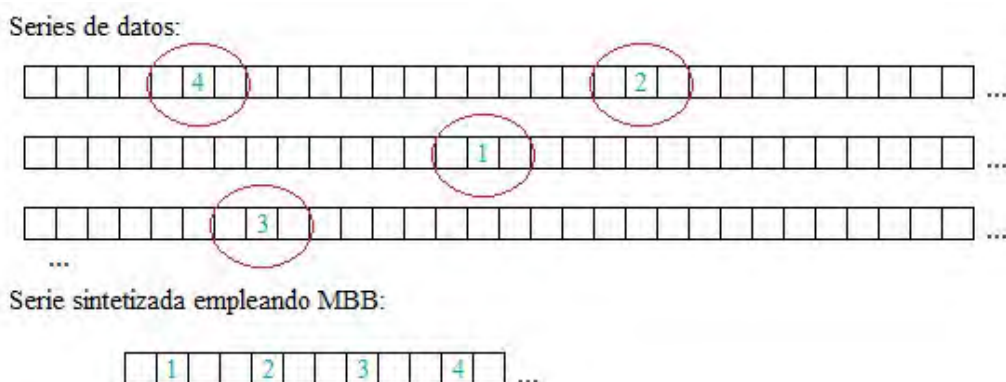
1º Se dividen las muestras en bloques, conjuntos de varios días de datos, de un número fijo de elementos. De esta forma mantenemos parte de la dependencia entre elementos, aunque también la perdemos en la unión entre bloques; añadimos ruido

blanco a la serie. La utilización de filtros durante el proceso de remuestreo para determinar si la unión entre bloques es factible o no es una implementación interesante del método y se discutirá en el tema de resultados.

2º Construimos series sintéticas de datos a partir de seleccionar de forma aleatoria (método de Montecarlo) los bloques creados en el paso anterior y colocarlos uno detrás de otro. Esto plantea varios problemas que se analizarán y resolverán más adelante, como el tamaño más adecuado de bloque, el número máximo de días entre el último de un bloque y el primero del siguiente (ejemplo: no tendría sentido que a continuación de los datos del 07/02/2009 vinieran los del 22/08/2013, ya que habría varias horas de luz de diferencia), los riesgos de redundancia de las series generadas o la posibilidad de que las propiedades entre días consecutivos en las uniones entre bloques superaran a las diferencias entre días consecutivos de los datos.

Utilizando este método se pueden crear tantas series como se desee. Aunque en realidad habrá un número finito de posibilidades, que vendrá determinado por el tamaño de la muestra de datos y el algoritmo de selección que se emplee, dicho número será tan grande que, a efectos prácticos, se puede considerar infinito (ejemplo: para los diez años de datos empleados y el método descrito más adelante como MBB2 el número posible de series sin repetición asciende a ciento noventa elevado a ciento veintidós). Además, cuanto mayor sea la cantidad de eventos extremos contenidos en los datos, más robusto será el método; ya que el MBB no considera ningún escenario extremo más allá de los recogidos en los datos de la muestra base. Esto implica que para aumentar su fiabilidad son necesarias grandes muestras de datos que contengan suficientes eventos normales y atípicos.

En el siguiente apartado se definirá como se aplicará el método.



*Figura 3.2.1.: Croquis del funcionamiento del MBB.*

Nota: la figura 3.2.1. representa una aplicación del MBB genérica. Cada cuadrado representa un día del año (un conjunto de veinticuatro datos), se cogen en bloques de igual tamaño de tres días y se van colocando uno a continuación del otro hasta crear una serie sintética de un año. Los cuadrados son días (unidades de datos); los círculos rojos rodeando tres cuadrados representan la selección de un conjunto de tres días (bloque); las primeras tres líneas de cuadrados simbolizan un año de datos cada una (series); y la última línea de cuadrados representa el año sintético que se está creando a

partir de los bloques seleccionados; siendo los números el orden en el que han sido seleccionados y colocados.

### 3.3. Implementaciones del MBB aplicadas

En este apartado se van a presentar varias formas de aplicar el MBB que se compararán en la sección de resultados.

Los resultados del MBB son muy sensibles al tamaño de bloque. Un bloque más grande supone menos permutaciones, menos uniones entre bloques y mucha más similitud con las series originales. La naturaleza del método hace que el tamaño óptimo del bloque sea dependiente del volumen de la muestra, los estadísticos a considerar y la naturaleza de los datos. Los datos utilizados, esto es, la radiación solar incidente, están ligados a la climatología y será muy útil intentar identificar y catalogar la duración y tipos de frentes. Más adelante se abordará un método con el que se puede determinar el tamaño de bloque óptimo.

El primer método aplicando el MBB tendrá como idea base la creación de bloques grandes (conjuntos de en torno a veinte días) a partir de franjas de datos (intervalos de días entre cuyos primeros y últimos días haya menos de media hora de diferencia de luz; tanto al amanecer como al atardecer) de las que se cogerán bloques pequeños (conjuntos de unos pocos días consecutivos) con los que se conformarán los bloques mencionados. Para ello se trabajará con un tamaño de bloque pequeño de tres días (tamaño ampliamente seleccionado por distintos autores para distintas aplicaciones del MBB) y una banda fija de intervalos de treinta días, con selección de bloques grandes de veinte/veintiún días, que irá avanzando veinte/veintiún días según se crea cada bloque grande. A esta implementación se la denominará MBB1. El bloque seleccionado pertenecerá a un año de datos aleatorio.

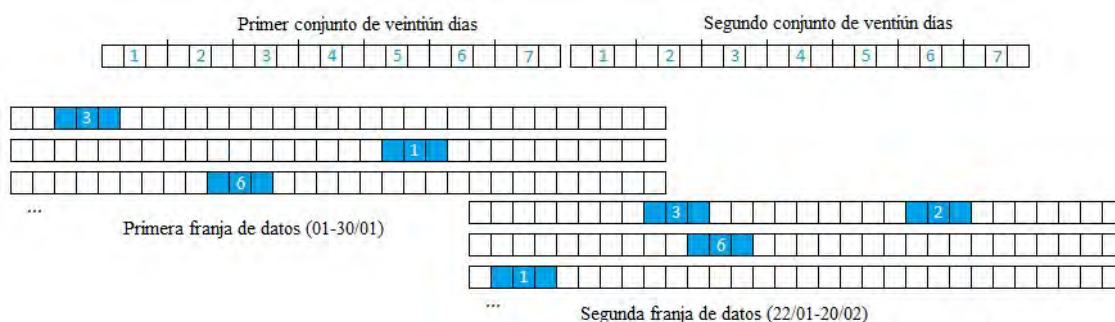


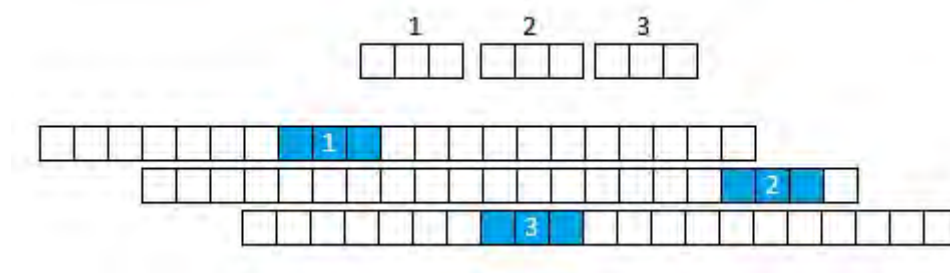
Figura 3.3.1.: Croquis del funcionamiento del MBB1

La segunda versión no tendrá bloque grande. El tamaño del bloque pequeño se mantendrá en tres días, pero la banda de selección será móvil, cambiando cada vez que se seleccione un bloque, y tendrá una anchura máxima que no permita que la diferencia de luz, en la unión entre bloques, sea superior a una hora entre dos días consecutivos; lo que supone treinta minutos de diferencia en el amanecer y otros treinta en el atardecer. Para determinar la anchura óptima se han revisado distintos trabajos ([37], [39] y [40]) y sus respectivas propuestas para MBB y otros métodos similares de remuestreo, pero

dada la naturaleza de los datos, que delimitan una anchura máxima por la variación de horas de luz día a día, y la anchura mínima razonable para tener una variabilidad suficiente (por lo menos cien series sintéticas sin riesgo de repetición o excesiva similitud) se ha optado por utilizar el mismo criterio que para determinar el tamaño de bloque óptimo (el máximo posible que cumpla los criterios anteriormente descritos). Además, como uno depende del otro sería más preciso hablar de combinación óptima. En el trabajo [62] se demuestra como el tamaño de bloque óptimo a menudo es muy superior a lo intuido por otros autores. Por tanto, conviene indicar que el tamaño óptimo puede no ser una opción viable por la anchura máxima de selección o por no permitir una variabilidad mínima.

Para determinar la anchura máxima de la banda de selección (conjunto de días entre los que se puede coger el bloque) se tomará como referencia la estación más al norte, ya que al estar en el hemisferio norte cuanto más al norte mayor es la diferencia de luz entre días a lo largo del año; como se mostrará más adelante esta es la estación de Carracedelo, León. Además, los cálculos de diferencia de horas de luz se harán en torno a los días en los que la ecuación del tiempo tiene mayor pendiente (figura: 2.1.4.1.1. Esto significa que hay más minutos de diferencia entre dos días consecutivos; y corresponde con la primera quincena de septiembre); se tomará septiembre, ya que es una franja que presenta la mayor pendiente y no entra en conflicto con el equinoccio de invierno como su homólogo en la ecuación del tiempo; quedando la franja máxima en veintiún días. Otra posibilidad, que se desarrollará más adelante, será hacer el tamaño de la banda de selección variable en función de la ecuación del tiempo, y para los cálculos de las estaciones de forma individual también utilizando su propia latitud en lugar de la más restrictiva.

Resumiendo, el MBB2 irá cogiendo bloques de tres días de franjas de más/menos diez días respecto el día central donde se colocará el bloque; dicho bloque pertenecerá a cualquiera de los años de datos registrados. Este proceso se repetirá hasta tener un año sintético.



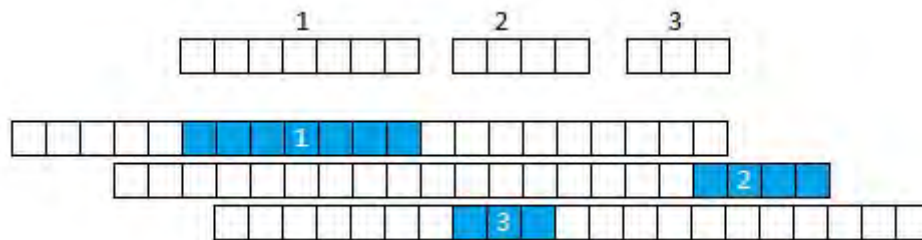
*Figura 3.3.2.: Croquis del funcionamiento del MBB2*

La tercera versión tendrá una banda de selección móvil, que será igual que la de la segunda versión, pero en este caso el tamaño de bloque pequeño será variable (entre tres y siete días). Esta técnica se conoce por el nombre de Stationary Bootstrap [63] pero dada su enorme similitud con el MBB le llamaremos a efectos prácticos MBB3. El Stationary Bootstrap es utilizado con casos en los que es difícil determinar el tamaño de



bloque óptimo, y es esa precisamente la razón por la que se ha decidido usarlo. A pesar de que en los MBB anteriormente descritos se seleccionó un tamaño de bloque de tres días este no es necesariamente el mejor para la banda utilizada. Mientras se mantenga la banda de selección con una anchura adecuada para evitar una diferencia de una hora de luz entre dos días consecutivos y haya una variabilidad razonable cualquier tamaño de bloque sería válido a priori. Aunque el número de posibilidades descienda exponencialmente según aumenta el tamaño de bloque este es suficientemente grande como para permitir una gran variabilidad con un tamaño de hasta una semana. Por otro lado, un tamaño de bloque grande también supone una mayor probabilidad de repetición de días y una menor riqueza.

En el punto de MBB2 se incluirá una muestra de la aplicación de dicha versión con distintos tamaños de bloque para demostrar cómo se mantienen las propiedades.



*Figura 3.3.3.: Croquis del funcionamiento del MBB3*

Para la cuarta versión se hizo también de tamaño creciente y menguante el ancho de la banda de selección, con el objetivo de que en cada estación y en función de la época del año se pudieran seleccionar días más lejanos. Pero no se presentará en el proyecto para no hacerlo más extenso y porque no se consideró que aportara nada significativo frente a las otras implementaciones del MBB.

Existen otras variantes de Bootstrap aplicada a series temporales con dependencia de datos, como puede ser el Circular Block Bootstrap (el cual no es válido, dado que, aunque los datos tengan una dependencia anual, no se repiten), pero con estas tres implementaciones tenemos suficiente para el análisis.

## 4. Datos utilizados

Los datos de radiación medidos deben haber sido tomados con una inclinación nula, plano horizontal, y sin separar radiación directa y difusa. Además, deben ser datos de radiación total como mínimo horaria.

En la primera etapa del proyecto se consultó e intentó extraer datos de las bases de datos meteorológicas de la NASA [22], de Satellicht (base de datos europea de luz y radiación solar) [23], del ministerio de agricultura alimentación y medio ambiente español a través del sistema de información agroclimática para el regadío [24] y a través de la agencia estatal de meteorología [27], del servicio de la estación meteorológica del instituto de energía solar de la Universidad Politécnica de Madrid [25], de la plataforma Soweda [26], de la National Climatic Data Center (parte del NCEI de EEUU) [28], de ADRASE [41], de SoDa [44], de WRDC [45], de NREL (aunque los datos se limiten a EEUU el potencial de estudios de viabilidad para la implantación de energías renovables en prácticamente todas sus formas es tremendo) [46], del gobierno australiano [47], de SOLEMI [48], de OpenSolarDB [49], de meteonorm [50], de solargis [51], de la comisión europea usando Photovoltaic Geographical Information System [52], de CM SAF [53], de la agencia andaluza de energía [54], de Colombia [55], de Argentina [56], de Chile [57] y de VAISALA [58]. La mayoría de las plataformas web ofrecían datos que no cumplían los requerimientos o eran de pago; enormemente caras además. Pero cuatro de ellas si aportaban datos válidos. La información meteorológica disponible en diferentes páginas de la NASA no contenía los datos horarios de energía solar incidente sobre un plano horizontal para Europa, aunque si datos diarios muy completos y de veintidós años (1983-2005) [22]; es relevante señalar que estos valores se estiman a partir de la información recogida por varios satélites. La información proporcionada por satel-light fue descartada porque sólo proporcionaba datos de cuatro años (1996-2000), los cuales son una muestra muy limitada para la aplicación del MBB [23]. La tercera fue descartada por los enormes vacíos en la información que impedían tener una muestra suficientemente grande de todas las estaciones simultáneamente. Otra se descartó por dar sólo datos para una localización [25]. Muchas se descartaron porque sólo aportaban datos de los últimos días o semanas [27]. Finalmente, los datos utilizados han sido los proporcionados por eportal [24]. Además, se ha descargado la información con las temperaturas horarias adjuntas, que, aunque se pueden estimar, es un dato muy relevante para tanto la PV como para la termosolar, así que, aunque para éste proyecto per se no sea relevante, para posibles aplicaciones del trabajo si lo será.

Durante el proceso de selección de estaciones se han utilizado una serie de criterios. El primero que la estación contara con datos de 2005 a 2014. Posteriormente con aquellas que lo cumplían se revisaban los datos para descartar testaciones cuyos valores de radiación presentaban gran cantidad de huecos sin datos; fruto de aparatos con un funcionamiento defectuoso, que se rompían o algún otro problema. También se pretendía eliminar aquellas cuyos datos de radiación fueran muy inferiores a los esperados o con formas anómalas al graficarlos (caídas bruscas de la radiación); fruto de la ubicación de la estación (en un bosque, en la ladera norte de una montaña, junto a una construcción o similar. Además, en algunas estaciones del norte en invierno,

seguramente fruto de la nieve, se encontraron estaciones que dejaban de aportar datos coherentes durante meses). Pero finalmente, debido a que ninguna estación cumplía estos requisitos, se decidió trabajar con doce estaciones de cuatro provincias (León, Madrid, Córdoba y Almería; tres estaciones por provincia) de las que se extrajeron diez años de datos, de cada una, de energía solar incidente sobre un plano horizontal (2005-2014), a pesar de la baja calidad de los datos. Las provincias se han seleccionado buscando tener ejemplos con distinta climatología a lo largo de la península ibérica; norte, centro y sur, además de una cuarta costera para estudiar la influencia del mar. Más adelante se mostrará cómo no sólo son relevantes los datos de latitud y longitud sino la importancia de la altitud, proximidad al mar, geografía del terreno y microclimas.

| Provincia | Estación                   | Latitud | Longitud | Altitud |
|-----------|----------------------------|---------|----------|---------|
| Leon      | <i>Bustillo del Páramo</i> | 42,44   | -5,79    | 874     |
|           | <i>Carracedelo</i>         | 42,55   | -6,6     | 467     |
|           | <i>Sahagun</i>             | 42,36   | -5,03    | 856     |
| Madrid    | <i>Fuentidueña de Tajo</i> | 40,08   | -3,11    | 561     |
|           | <i>Cfinca experimental</i> | 40,41   | -3,44    | 604     |
|           | <i>Aranjuez</i>            | 40,03   | -3,6     | 487     |
| Córdoba   | <i>Córdoba</i>             | 37,84   | -4,77    | 117     |
|           | <i>Santaella</i>           | 37,56   | -4,84    | 207     |
|           | <i>Belmez</i>              | 38,26   | -5,21    | 523     |
| Almería   | <i>Fiñana</i>              | 37,16   | -2,84    | 971     |
|           | <i>Almería</i>             | 36,82   | -2,46    | 22      |
|           | <i>Tabernas</i>            | 37,04   | -2,38    | 435     |

Tabla 4.1.: Nombre y posiciones geográficas de las estaciones de medida

También respecto a los datos, hay que mencionar que para EEUU sí que se dispone de datos de más calidad (aunque estimados por satélite en lugar de medidos en tierra). Dichos datos se pueden descargar sin coste de varias páginas web de la NASA y NSRDB ([22] dispone de datos de irradiancia global sobre plano horizontal (kWh/m<sup>2</sup>) cada media hora de 1998 a 2014). Aunque no permiten descargar los mapas completos de radiación por problemas del tamaño de la información solicitada.

#### 4.1. Procesamiento de los datos de radiación

En primer lugar se procedió a dar un formato adecuado a los datos extraídos de eportal en ficheros de Excel (agrupados en cuatro columnas: día, hora, temperatura y radiación). Se utilizó un programa de matlab para generar de forma automática un conjunto de archivos de datos .mat. Se generaron así ciento veinte archivos (uno por año y por estación), que contienen los datos de interés: día, hora, temperatura y radiación. A continuación, con otro programa, se agruparon los datos en doce .mat, uno por estación.

En el proceso de agrupamiento se identificaron huecos puntuales sin datos. Esta carencia de datos puede tratarse de datos aislados, un día entero o días enteros consecutivos sin datos. En el caso de no disponer de datos durante varios días seguidos o más de siete días al año las estaciones han sido descartadas. Cuando la falta de datos ha afectado a un día entero de forma puntual los datos han sido autorrellenados con una copia del día anterior.

Respecto a los huecos aislados sin datos se contempló la posibilidad de estimar los valores de radiación de dichos huecos y trabajar con datos medio horarios, pero en su lugar se optó por calcular datos horarios. Este cálculo se realizó a partir de la media aritmética de los valores de radiación tomados entre el valor de en punto y el de la media hora anterior. En los casos en los que falta algún dato aislado se ha utilizado directamente el dato adyacente sin realizar la media. También se contemplaron distintos mecanismos de estimación para el caso de ausencia de datos durante varias horas consecutivas, pero no se dio ningún caso.

La conversión de los datos medio horarios a valores horarios reduce a la mitad el tamaño de la muestra con la que se trabaja y disminuye ligeramente los valores de radiación de los datos originales, pero gracias a ella eliminamos el efecto del amanecer y el ocaso (en los que la radiación medida es muy superior a la que cabría esperar debido a la altura del sol en el horizonte).

Dado que la radiación en esos periodos es muy reducida se podría pensar que no es relevante pero cuando se calculan los índices de claridad se observa que sus valores son superiores a lo esperado, llegando incluso a estar por encima de la unidad, lo que carece de sentido para un dato normalizado. Al reconvertir los índices de claridad en datos de radiaciones terrestres sobre el plano horizontal, después de aplicar el MBB y multiplicar los índices de claridad por los valores de radiación extraterrestre correspondientes, se obtienen medidas teóricas inadecuadamente altas.

Por esta razón el que los valores crepusculares prácticamente desaparezcan elimina un problema con el que era complicado lidiar sin alterar o eliminar dichos datos. Además, con datos medio horarios la franja de selección de días habría sido muy reducida, ya que, como se explicó en el capítulo anterior, la diferencia entre valores crepusculares de dos días consecutivos tendría que ser de media hora como máximo en lugar de una hora; esto disminuye el número de posibilidades y limita la aplicación del MBB.

Una vez se tienen los doce archivos con datos de radiación horarios y sin huecos se procede a obtener los índices de claridad. Para ello se dividen los datos horarios de radiación entre los correspondientes valores de radiación extraterrestre calculados a partir de un programa en matlab. Dicho programa usa los conceptos y ecuaciones descritos en el punto: Radiación solar extraterrestre (ecuación: 2.1.). El programa crea un archivo que contiene los datos horarios de radiación solar sobre plano horizontal extraterrestre para un año normal y otro bisiesto para cada estación acorde a su latitud y longitud. Finalmente, estos serán los datos sobre los que se va a ejecutar el remuestreo.

Es relevante indicar que los datos de radiación aportados por eportal tienen una naturaleza puntual ( $W/m^2$ ), ya que son de potencia en lugar de ser de energía incidente

horaria que sería el dato más adecuado con el que trabajar. Por ello las discrepancias en el amanecer y el ocaso cobran más importancia ya que aparecen valores muy pequeños en la claridad previa y posterior a la salida y puesta del sol. Para poder generar los índices de claridad puntuales obteniendo valores coherentes se ha optado por tomar el valor de radiación extraterrestre media hora adelantada en el amanecer y media hora retrasada en el atardecer. Con esta medida solventamos el problema de que algunos índices de claridad tiendan al infinito al dividir entre cero. Además, con ello también eliminamos los problemas surgidos por la posición aparente del sol en su salida y puesta, fruto de la refracción de la luz solar en la atmósfera. La consideración del fenómeno de la posición aparente se rechazó en el cálculo de radiación extraterrestre porque apenas supone unos pocos minutos de diferencia, pero al tomar valores puntuales puede generar incongruencias en los índices de claridad.

Otra dificultad que se ha tenido que superar han sido los desplazamientos temporales entre los datos y la radiación extraterrestre calculada. Estos desfases son de una hora o unos minutos, diferentes en función de las estaciones y en ocasiones diferentes también de un año a otro. En un caso se han hallado cambios de hora dentro de un mismo año no correlacionados con los cambios de hora oficiales. Aunque los datos no experimentaron ningún cambio de hora oficial (adelantamiento y retraso de una hora en dos fechas del año) sí que hay retrasos o adelantos de unos minutos, o hasta más de una hora, respecto a los datos teóricos. Por ello al calcular los índices de claridad se han tenido que ajustar uno a uno todos los datos con ayuda de varios programas en cascada. Dichos programas homogeneizan los datos en las salidas y puestas de sol, eliminando los desfases de datos dentro del año. Además generan datos de años de radiación solar extraterrestre (potencia;  $W/m^2$ ) que corresponden con los datos de medida tomados por las estaciones, con desfases de menos de tres minutos. De esta manera los índices de claridad obtenidos tienen una forma mucho más coherente que los calculados inicialmente sin tener en cuenta los desfases y el momento exacto (más menos un minuto y medio) en que se toma la medida; esto último es muy relevante por la naturaleza instantánea de la medida, que es de potencia.

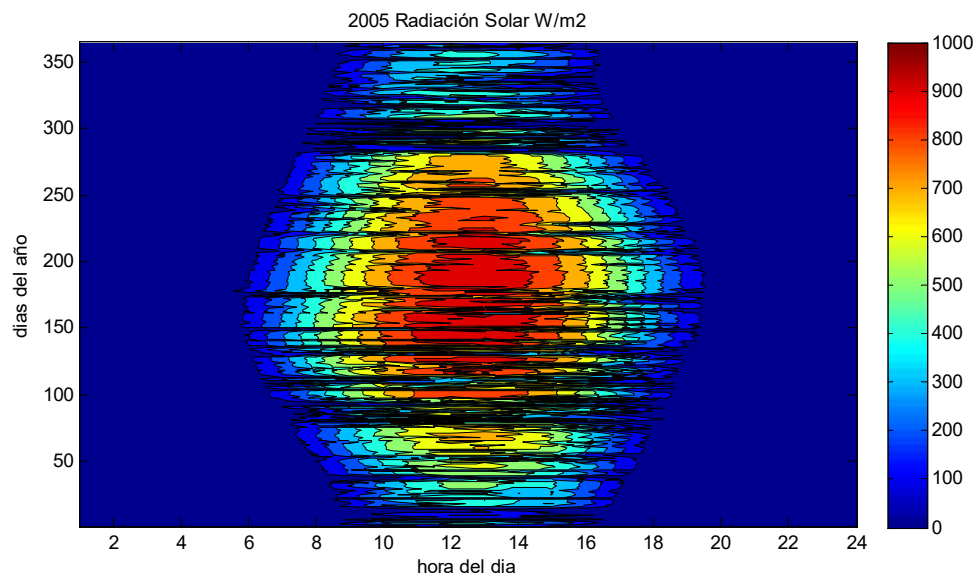
Cuando se analizaron los datos y se plantearon los estadísticos con los que comparar las series generadas con las originales, se decidió extraer de eportal los datos de la energía diaria ( $J/m^2$ ) recibida por cada estación durante las mismas fechas. Dichos datos se utilizarán para crear unos índices de claridad diarios obtenidos a partir de dividir los datos de la energía diaria medida entre la energía diaria extraterrestre calculada. Dicho cociente se obtendrá utilizando el programa para generar los datos de radiación extraterrestre, pero en este caso usando la ecuación (2.1.13) hora a hora. Se utiliza la (2.1.13) en lugar de la (2.1.14) para evitar calcular el ángulo de salida del sol.

Los índices de claridad diarios no solo se usarán para analizar los datos horarios, sino que al ejecutar las distintas versiones del MBB se crearán nuevas series de índices de claridad conjuntamente; dicho de otra manera, cada día de índices de claridad horarios tendrá un índice de claridad diario asociado. En los resultados se expondrán los usos de esta medida.

#### 4.1.1. Datos de radiación medidos

Los valores de radiación medidos de forma medio horaria por las estaciones tienen naturaleza de potencia:  $W/m^2$ . En algunas estaciones se han tenido que corregir numerosos desajustes horarios que tardaban días en solventarse; ya que por algún malfuncionamiento se producían desfases en el reloj que generaban medidas en horas que no correspondían.

Ejemplo: León, Bustillo del Páramo



*Figura 4.1.1.1.: Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2005. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf. Nota: Las líneas negras que se aprecian en la imagen no solo se deben a valores muy altos sino que también surgen al estar muy próximos valores muy distantes.*

Nota: las gráficas de los demás años de los datos de radiación horaria de Bustillo del Páramo, León, pueden verse en el Anexo 1.

Para averiguar si existe alguna tendencia cíclica a lo largo del año o de varios años se realizará un análisis de frecuencia con el que se obtendrán las frecuencias fundamentales de los datos de radiación horaria. A continuación se muestra como ejemplo el espectro en frecuencia de los datos de la estación de Bustillo del Páramo, León:

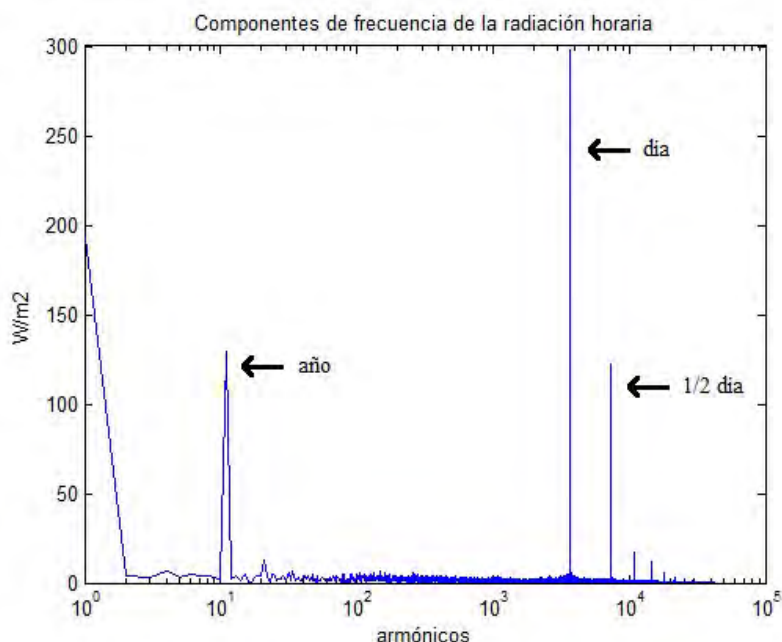


Figura 4.1.1.2.: Componentes de frecuencia de la serie de diez años (2005-2014) de datos horarios de radiación medidos en Bustillo del Páramo, León. Imagen obtenida a partir de un análisis FFT y generada usando Matlab.

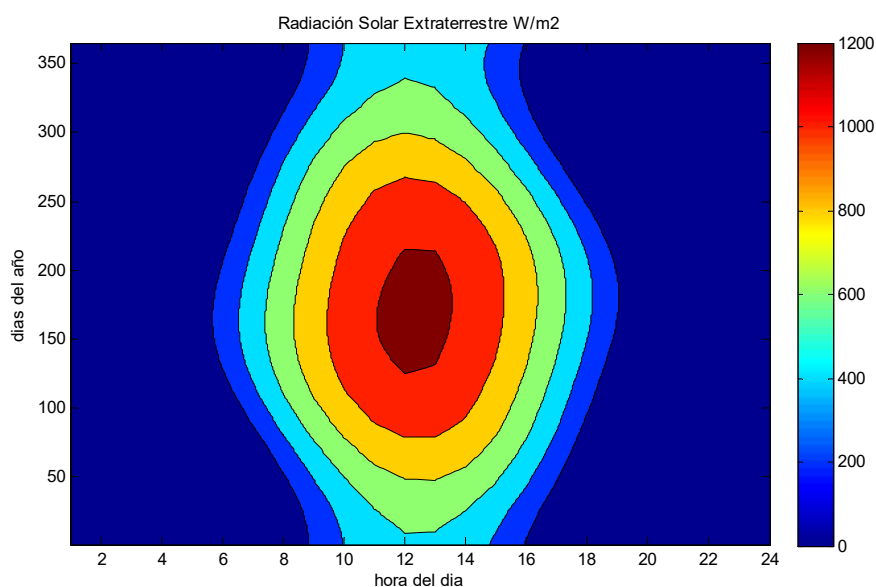
Como era de esperar al analizar el espectro de frecuencia encontramos la frecuencia anual y diaria. No obstante, hay dos detalles en los resultados bastante significativos y nada predecibles. El primero es que la frecuencia anual está ligeramente desplazada, no encaja con ocho mil setecientas sesenta horas sino con unas siete mil novecientas sesenta y ocho horas, que equivalen a trescientos treinta y dos días. Es probable que se deba al reducido tamaño de la muestra, respecto al número de años, y que si esta fuera mucho mayor se ajustaría más a la duración del año. El segundo es aún más desconcertante, la componente de frecuencia de medio día.

Otro punto importante es que todas las estaciones presentan el mismo espectro de frecuencia. Esto significa que, para el tamaño de la muestra, no existen ciclos climáticos particulares de una región, sino que todas comparten los mismos.

#### 4.1.2. Valores de radiación extraterrestre calculados

Consecuentemente también se cogerán los valores generados de potencia (2.1.12) en lugar de energía (2.1.13).

León, Sahagún:



*Figura 4.1.2.1.: Radiación solar horaria extraterrestre en Sahagún, León. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.*

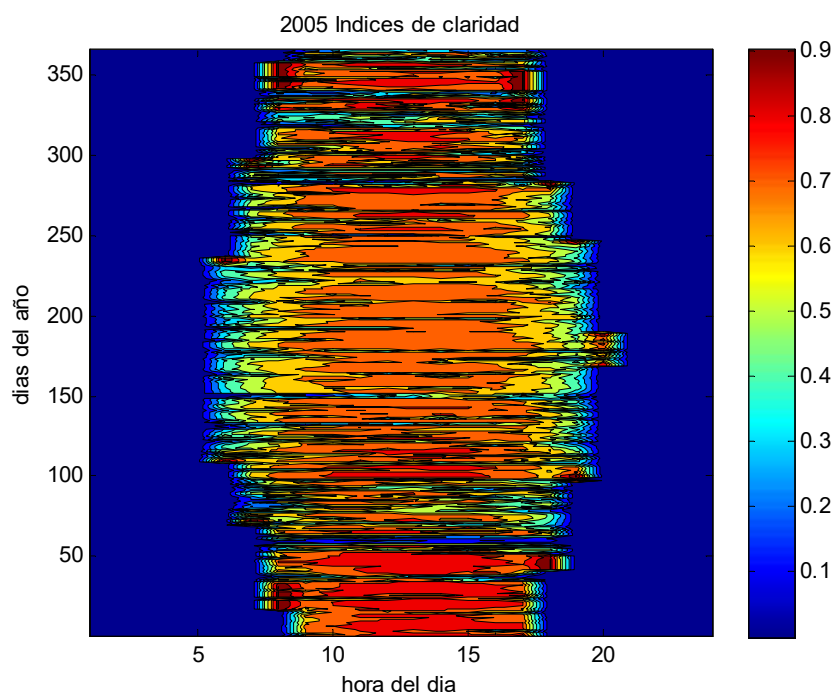
Nota: las gráficas de los valores de radiación extraterrestre calculados del resto de las estaciones se encuentran en el Anexo 2.

## **4.2. Estudio de los índices de claridad sacados de los datos**

Como se definió previamente, los índices de claridad son la relación de la irradiación solar incidente sobre una superficie horizontal situada sobre la Tierra dividida entre la radiación que llega a una superficie horizontal situada fuera de la atmósfera; por tanto, son una forma adimensional de expresar la radiación solar incidente. Por ello, una vez que se dispone de los datos de índices de claridad se puede intentar extraer mucha información relevante de ellos; y más teniendo en cuenta que son simultáneos para las distintas estaciones. La razón por la que se estudian los índices de claridad en lugar de los datos de radiación es porque son valores normalizados acordes a la radiación extraterrestre disponible en cada ubicación y por tanto podrían presentar tanto similitudes entre datos de distintas estaciones como particularidades apreciables al estudiar el conjunto de todas las estaciones y sus respectivos subconjuntos por provincia.



### Ejemplo: Córdoba, Santaella



*Figura 4.2.1.: Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2005. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.*

Nota: las gráficas de las demás series anuales de los índices de claridad de Santaella, Córdoba, pueden verse en el Anexo 3.

Frecuencias fundamentales de los índices de claridad horarios:

Ejemplo con los datos de Santaella, Córdoba:

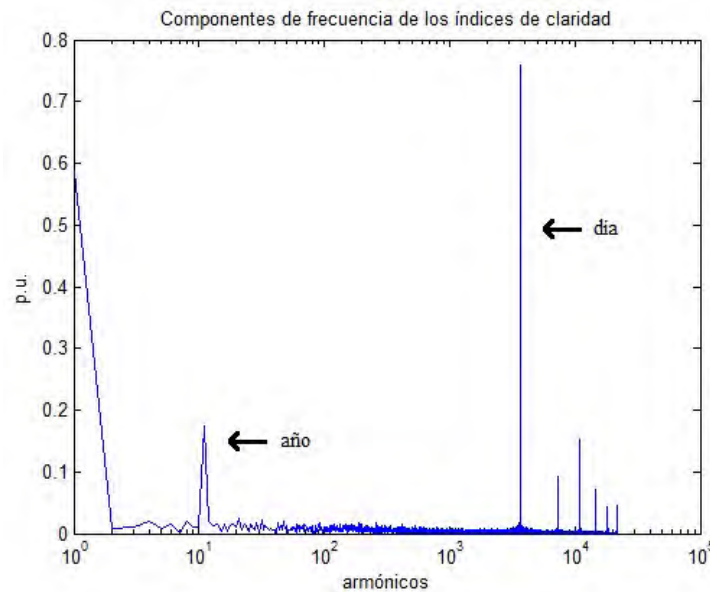


Figura 4.2.2.: Componentes de frecuencia de la serie de diez años (2005-2014) de índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un análisis FFT y generada usando Matlab.

Los índices de claridad presentan las frecuencias anual y diaria, pero la de mediodía ha quedado reducida y la que queda más arriba después de la diaria es de ocho horas, un tercio de día (los espectros de las muestras de datos de todas las estaciones son similares). No obstante, mucho más interesante que estos reductos, que aparecen tanto en el análisis de frecuencia de la radiación horaria como en el de los respectivos índices de claridad horarios, es el hecho de que si elimináramos del análisis las noches (puntos en los que los valores son 0) los índices de claridad dejarían de tener una marcada componente diaria (figura 4.2.3.).

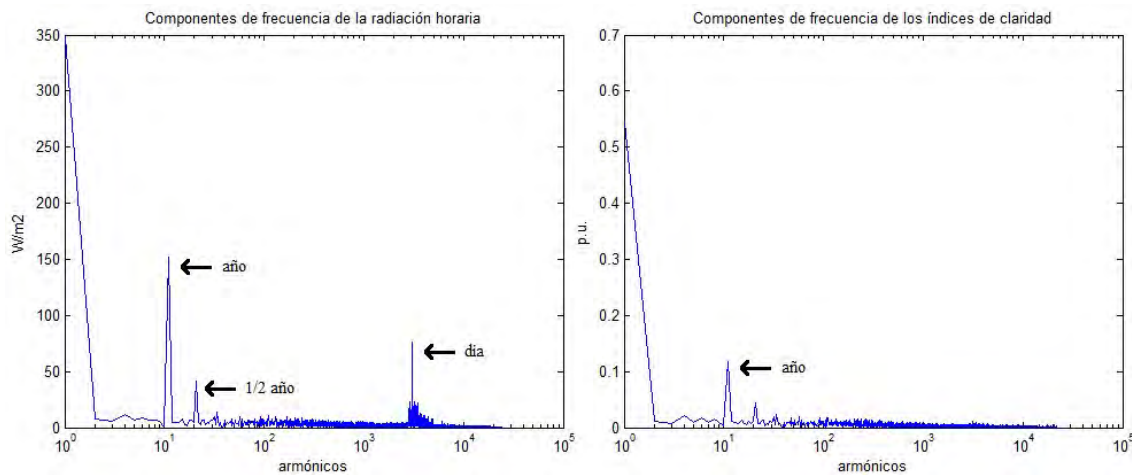
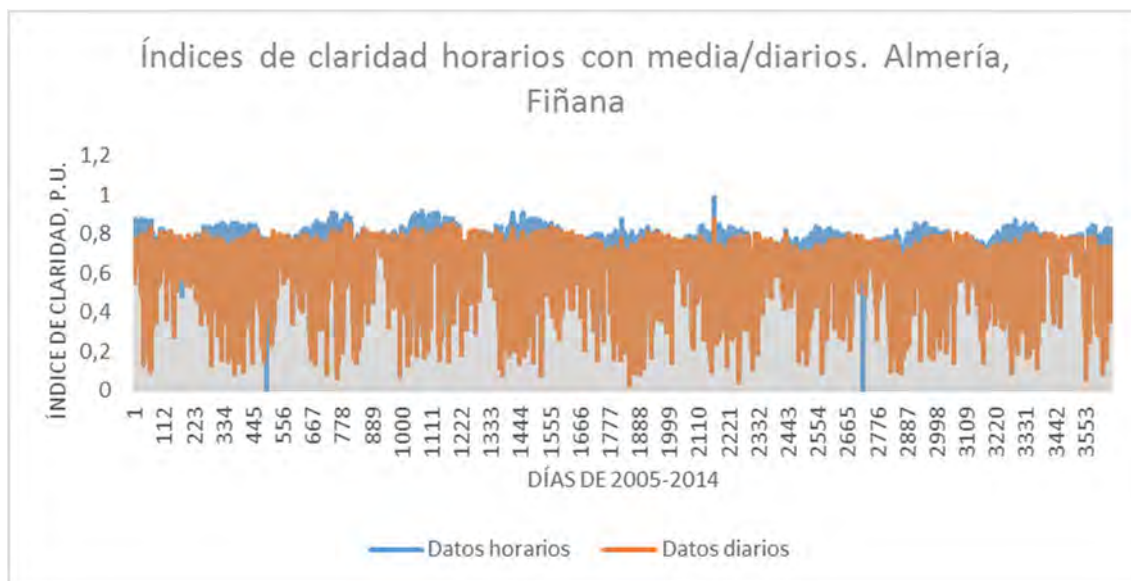


Figura 4.2.3.: La figura de la izquierda son las componentes de frecuencia de la serie de diez años (2005-2014) de datos horarios de radiación medidos en Bustillo del Páramo, León, eliminando los valores de noche, los ceros. La figura de la derecha son las componentes de frecuencia de la serie de diez años (2005-2014) de índices de claridad horarios en Bustillo del Páramo, León, eliminando los valores de noche, los ceros. Imagen obtenida a partir de un análisis FFT y generada usando Matlab.

Para estudiar los índices de claridad se van a emplear una serie de estadísticos básicos, aunque adaptados a la naturaleza de los datos. Dichos estadísticos serán de centralización, de dispersión y de posición.

Los estadísticos se van a dividir en tres grandes bloques: estación por estación, estaciones por provincia y todas las estaciones simultáneamente. Además, cada uno se va a subdividir en función de los datos utilizados: índices de claridad horarios, obtenidos de los datos de potencia solar horarios, e índices de claridad diarios, obtenidos de los datos de energía solar diaria. Una vez calculados dichos estadísticos se hará lo mismo con las distintas muestras de cien años de datos generadas por la aplicación de las distintas implementaciones del MBB de forma simultáneamente para todas las estaciones.

Ejemplo de comparación entre índices de claridad horarios, obtenidos a partir de potencia solar, ajustados con media a diarios y diarios, obtenidos a partir de energía solar. Almería, Fiñana:



*Figura 4.2.4.: Comparación entre índices de claridad horarios, obtenidos a partir de potencia solar, ajustados con media a diarios y diarios, obtenidos a partir de energía solar, para Fiñana, Almería. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.*

Finalmente hay que indicar que se ha intentado, sin éxito, normalizar los datos de índices de claridad a lo largo del año. Para ello se homogenizaron a doce horas de luz todos los días del año, así que todos los días pasaron a tener la misma longitud. De esta manera se consiguió que las permutaciones fueran válidas cogiendo para rellenar determinado día de la serie sintética cualquier día del año de los datos. Pero al reconstruir los datos normalizados para ajustarlos a cada día del año estos perdieron la mayor parte de la información y quedaron casi como datos creados a partir de parámetros. Por lo que, al no encontrar una forma efectiva de hacerlo, se descartó la opción de normalizar los datos.

#### **4.2.1. Análisis de los datos estación por estación para los índices de claridad diarios**

Estadísticos de centralización:

**1. Media anual:** aunque no permite ver la forma de la distribución de los índices de claridad, sí que sirve para establecer unos valores extremos entre los que se tendrán que encontrar los propios de los años generados. Además, nos permite hacernos una idea de la variabilidad de recurso entre distintos años. (Anexo 4.1)

2. Media estacional: permite ver cuánto de marcada es la diferencia entre las cuatro estaciones. (Anexo 4.2)

3. Media mensual: será una buena referencia para evaluar si la aplicación del método MBB distorsiona la dependencia anual de los índices de claridad.

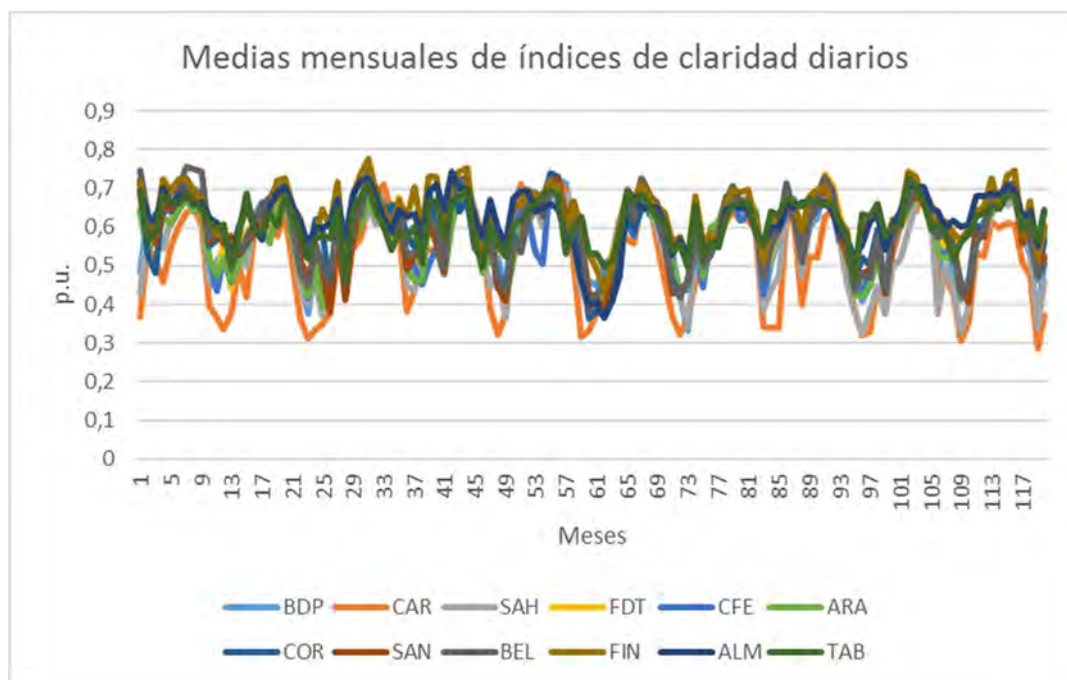


Figura 4.2.1.1.: Medias mensuales de los índices de claridad diarios. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab

Las estaciones de León, y particularmente la de Carracedelo, son las que poseen los índices de claridad más bajos.

4. Media de franjas de veintiún días centrada día a día en cada día del año: cada día se cogen diez días hacia delante y diez días hacia atrás, se suman todos y se dividen entre veintiuno. La razón por la que se ha elegido veintiún días como tamaño de la franja es porque es el máximo de días garantizando que en ninguna estación habrá entre el primer y último día más de una hora de diferencia de horas de luz. Como todo estadístico de centralización suaviza los valores extremos y nos permite cuantificar como son los índices de claridad en torno a cada día año a año.

Ejemplo: Córdoba, Santaella

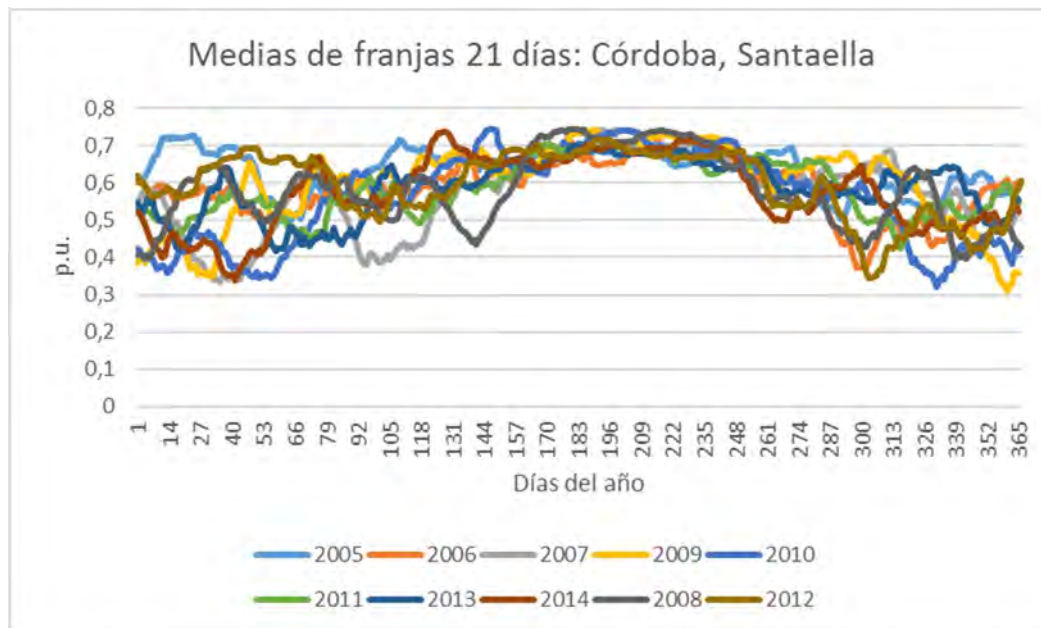


Figura 4.2.1.2.: Medias de franjas de veintiún días de los índices de claridad diarios. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab

Se aprecia muy bien como en la franja de verano la variabilidad de los índices de claridad entre distintos años es muy reducida.

#### Estadísticos de dispersión:

Para obtener una imagen de la dispersión de los índices de claridad se ha intentado utilizar diferentes diagramas de cajas. Los diagramas de cajas no han resultado ser un gráfico adecuado para ver la dispersión hora a hora a lo largo del día, ya que se absorbe toda la variabilidad anual y los resultados carecen del significado buscado. Para evitar este contratiempo se decidió crear diagramas de cajas con datos de franjas de veintiún días en los que se agrupaban hora a hora doscientos diez datos por hora; pero estos sólo tenían sentido para analizar la dispersión para un día concreto del año y carecía de sentido incluir trescientos sesenta y cinco diagramas por estación. También se planteó hacer una mezcla de los dos anteriores juntando los datos de cada mes de todos los años; pero serian ciento cuarenta y cuatro diagramas así que también se descartó.

Por otro lado, se planteó en lugar de representar la dispersión hora a hora hacerlo para conjuntos de días, un mes o veintiún días, por ejemplo; pero de esa manera se absorbería la variabilidad horaria dentro del día y no tendría el significado buscado. Es por ello que se emplearon directamente otros estadísticos para cuantificar la dispersión.

**1. Desviación típica anual:** permite cuantificar unos valores extremos de dispersión entre los que se tendrán que encontrar los años generados y comparar la dispersión entre estaciones tanto dentro de una misma provincia como entre distintas provincias para evaluar posibles semejanzas o diferencias climáticas y la presencia de microclimas. (Anexo 4.3)

2. Desviación típica estacional: permite ver la diferencia estacional de la dispersión, mostrando las semejanzas y discrepancias entre estaciones, y entre diferentes años, a lo largo de los diez años de datos. (Anexo 4.4)

3. Desviación típica mensual:

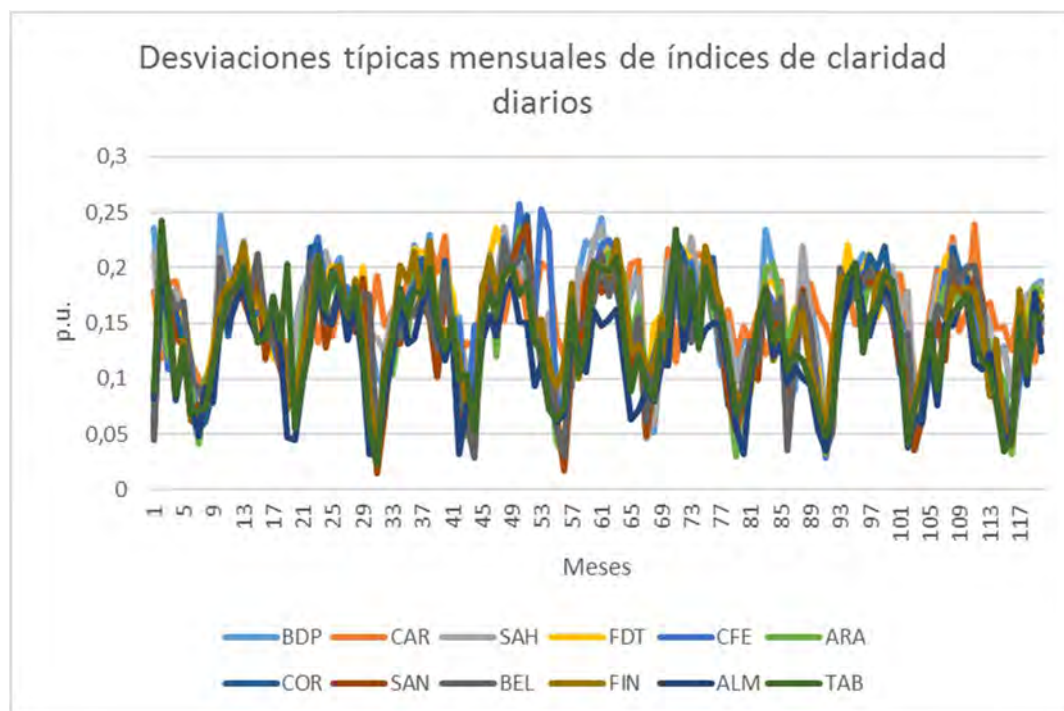


Figura 4.2.1.3.: Desviaciones típicas mensuales de los índices de claridad diarios. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab

Se puede apreciar fácilmente como la desviación típica tiene una frecuencia anual muy marcada, estando su mínimo en verano. También es característico que las desviaciones típicas de Almería sean las más pequeñas en su conjunto. Seguramente su proximidad al mar hace que, aunque la climatología cambie mucho más rápidamente, día a día sea mucho más homogéneo y con una evolución climática más gradual.

4. Desviación típica franja de veintiún días:

Ejemplo: Córdoba, Santaella



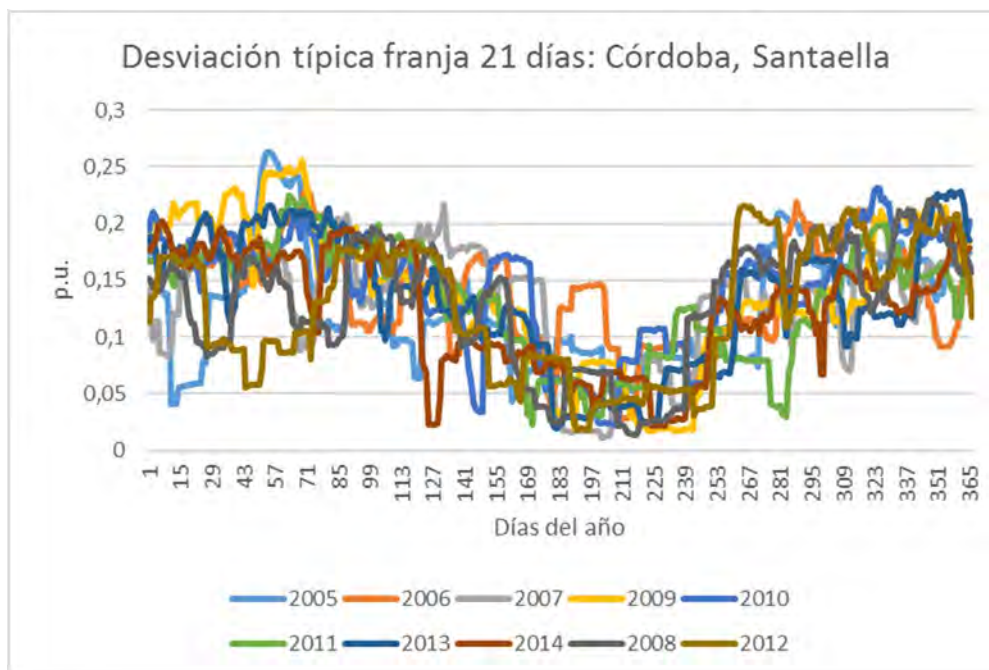


Figura 4.2.1.4.: Desviación típica de franjas de veintiún días de los índices de claridad diarios. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab

Se corrobora la observación realizada con los valores estacionales; en verano la desviación típica es menor.

## 5. Desviación media franja de veintiún días:

Ejemplo: Córdoba, Santaella

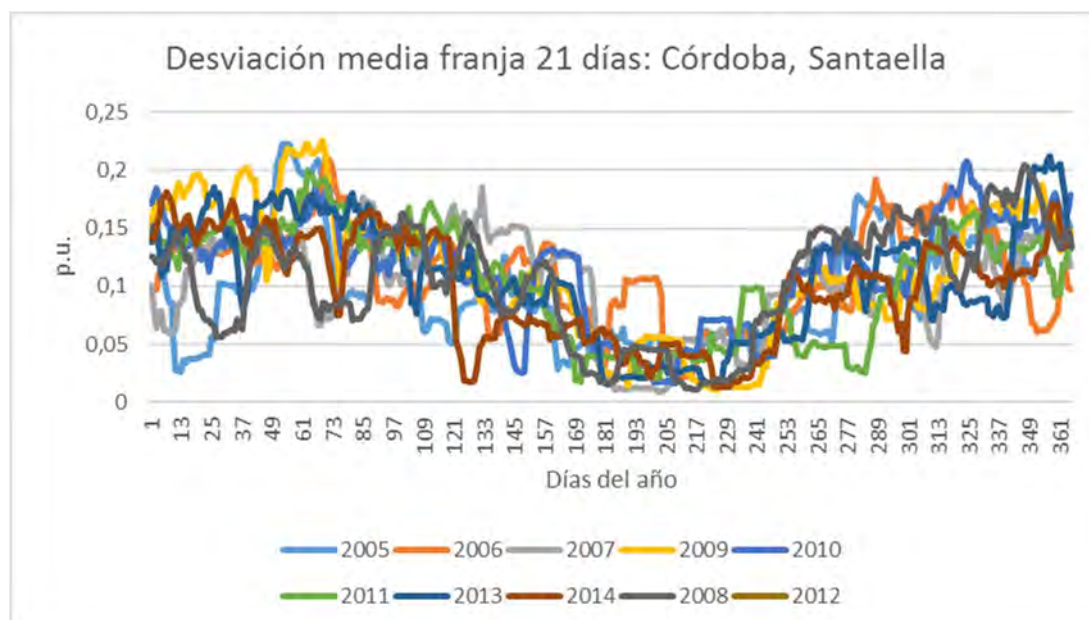


Figura 4.2.1.5.: Desviación media de franjas de veintiún días de los índices de claridad diarios. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.



Diferencia entre días consecutivos:

La diferencia entre índices de claridad entre días consecutivos va a ser un dato muy importante con el que vamos a evaluar la viabilidad de las uniones entre bloques en las series generadas; y si fuera necesario introducir filtros se basarían en los valores máximos aquí obtenidos.

Ejemplo: Bustillo del Páramo, León, 2010

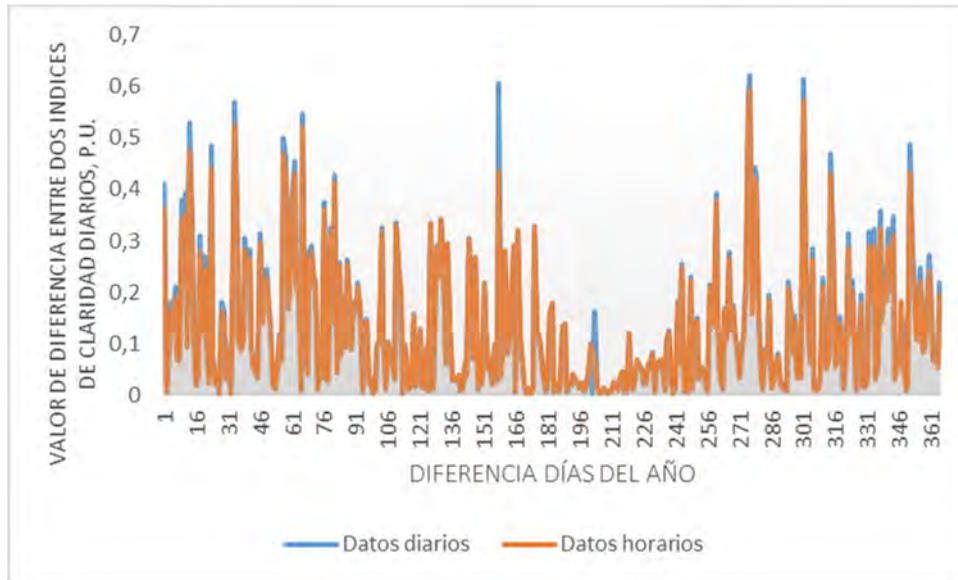


Figura 4.2.1.6.: Diferencia entre índices de claridad entre un día y el siguiente. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.

Aunque se han calculado medias y desviaciones típicas como con los datos no se han incluido tablas y graficas en el anexo para evitar hincharlo más. No obstante, en el punto de resultados aparecerán comparados con las diferencias entre días consecutivos de las series generadas utilizando el MBB. Las diferencias entre días consecutivos han sido calculadas con signo, para poderlos emplear en los filtros, y en valor absoluto para obtener distintos tipos de estadísticos de centralización y dispersión.

#### 4.2.2. Análisis de los datos estación por estación para los índices de claridad horarios

Para poder compararlos con los índices de claridad diarios es necesario hacer algún tipo de ajuste que homogenice los estadísticos. Primero se probó la suma directa de los índices de claridad horarios divididos entre veinticuatro para disponer de una medida equivalente, pero, como se podría intuir, los valores de dichos índices de claridad diarios sintetizados eran muy inferiores a sus homólogos obtenidos a partir de la energía. Esto se debe a que no es equivalente la suma de un conjunto de fracciones (índices de claridad horario) con la suma de los numeradores entre la suma de los denominadores (suma de valores en tierra entre suma de valores fuera de la atmósfera).

Aunque en lugar de dividir entre veinticuatro se divida entre el número de horas de sol para que quede un valor aparentemente más similar sigue habiendo perdido el significado original. Carece de sentido sumar valores normalizados a partir de distintos denominadores, como son los índices de claridad, ya que no pueden volver a reconstruirse los datos originales y sobre todo no los representan.

El segundo ajuste para poder comparar los índices de claridad diarios con los horarios consistió en sumar todos los valores medidos, para cada día, y dividirlos entre la suma de sus homónimos extraterrestres. Aunque este ajuste tampoco permite reconstruir los datos originales a posteriori sí que es representativo y puede usarse para comparar tanto con los datos diarios como con las series temporales generadas a partir del MBB.

Estadísticos de centralización:

1. Media anual: (Anexo 4.5)

2. Media estacional: (Anexo 4.6)

3. Media mensual:

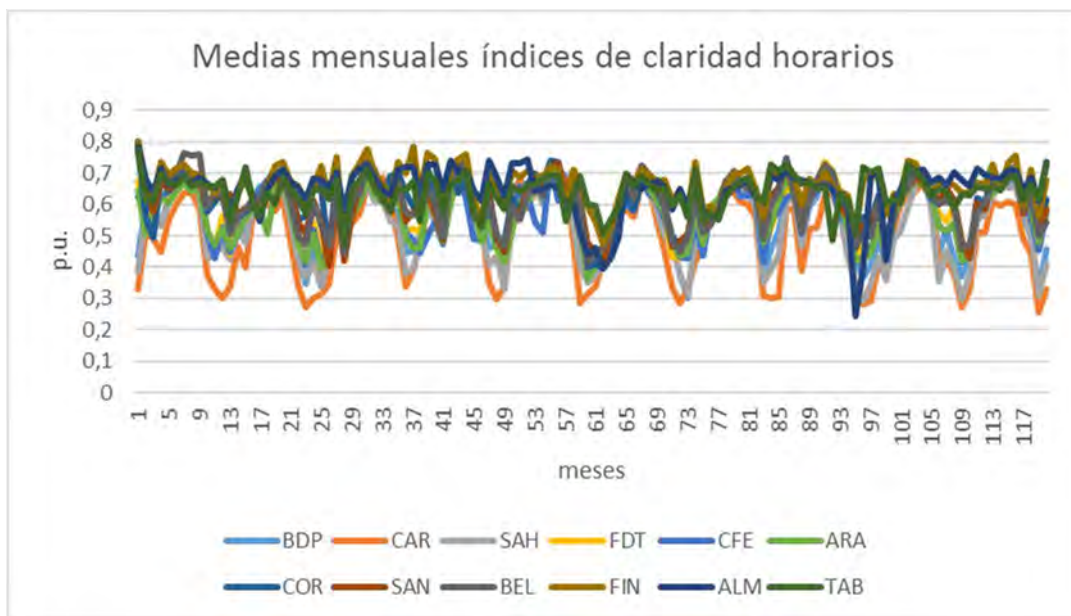


Figura 4.2.2.1.: Medias mensuales de los índices de claridad horarios. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.

4. Media de franjas de veintiún días centrada día a día en cada día del año:

Ejemplo:

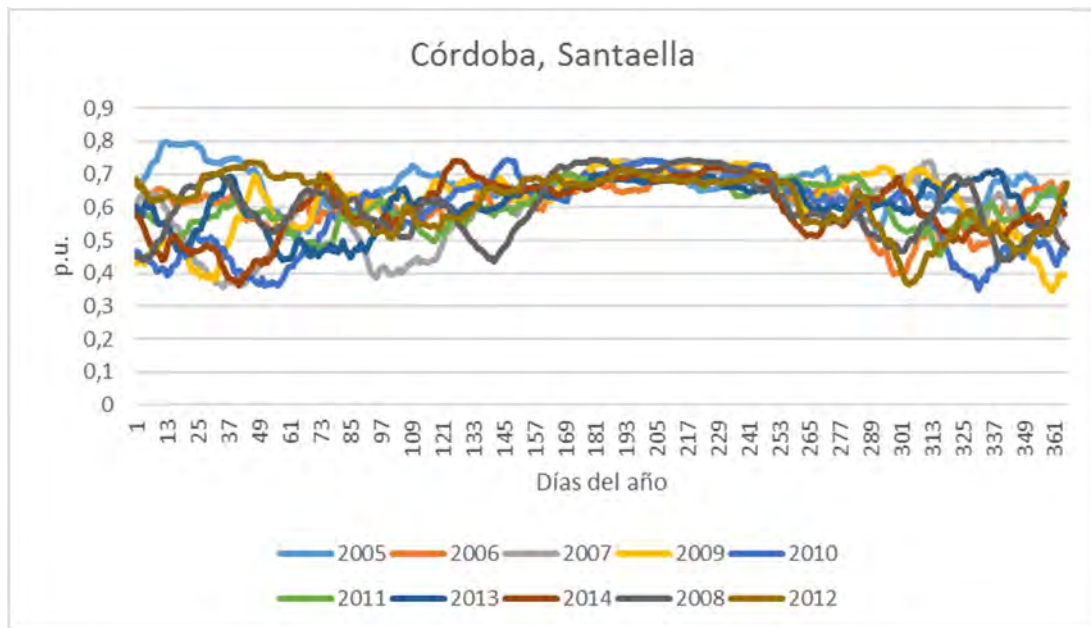


Figura 4.2.2.2.: Media de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.

Estadísticos de dispersión:

1. Desviación típica anual: (Anexo 4.7)

2. Desviación típica estacional: (Anexo 4.8)

3. Desviación típica mensual:

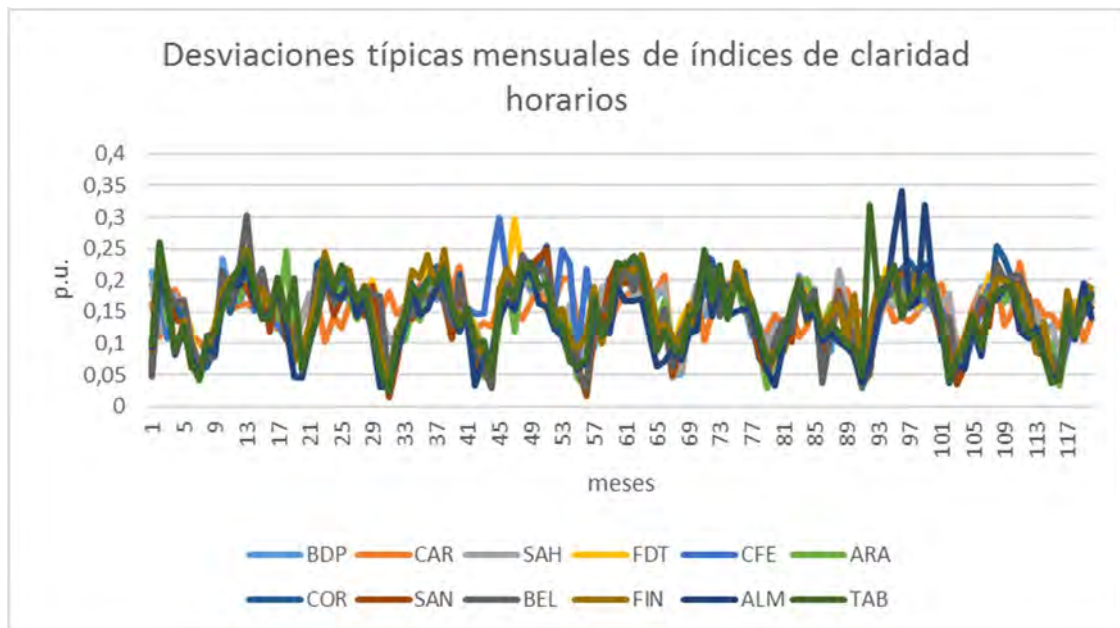


Figura 4.2.2.3.: Desviaciones típicas mensuales de los índices de claridad horarios. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.

#### 4. Desviación típica franja de veintiún días:

Ejemplo: Córdoba, Santaella

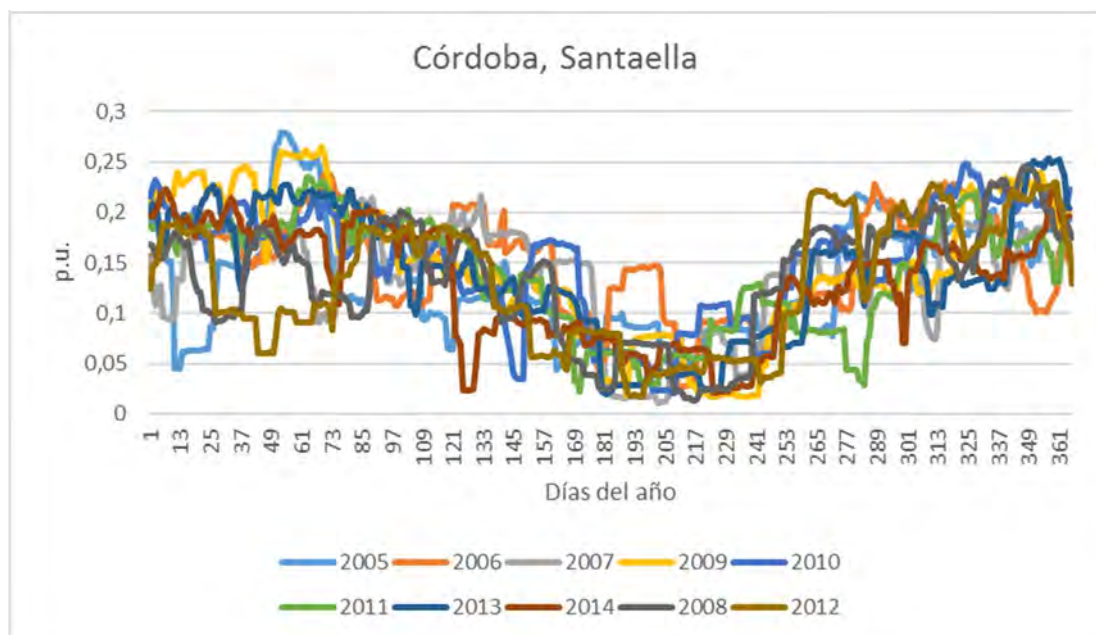


Figura 4.2.2.4.: Desviación típica de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.

#### 5. Desviación media franja de veintiún días:

Ejemplo: Córdoba, Santaella

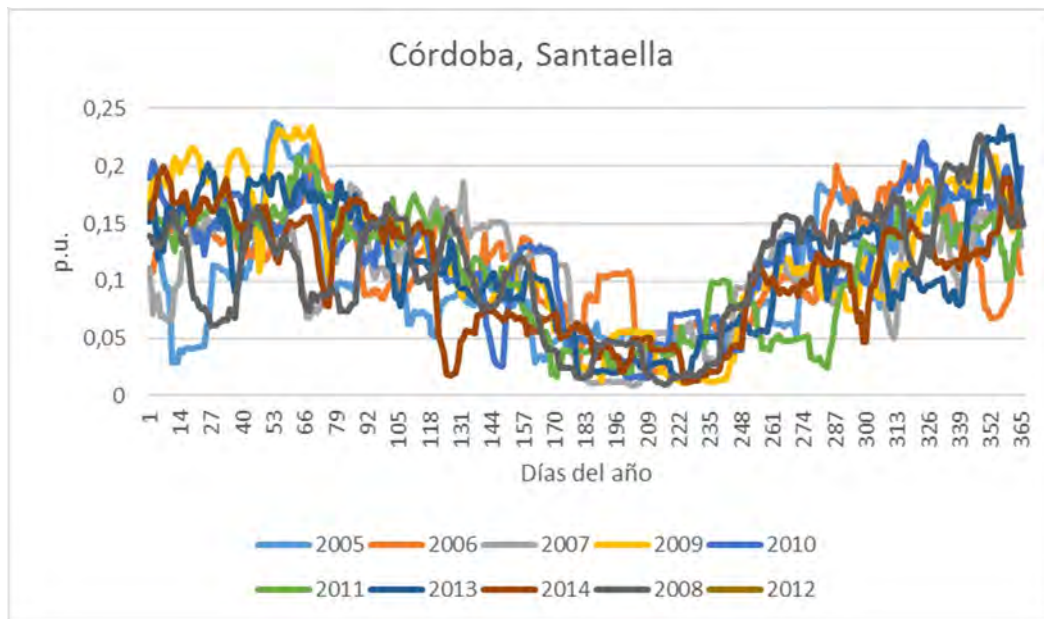


Figura 4.2.2.5.: Desviación media de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.

#### 4.2.3. Análisis de los datos por provincias para los índices de claridad horarios y diarios

Se realizará una comparación entre los datos y estadísticos de las estaciones de cada provincia. Dicha comparación se hará provincia por provincia. La razón por la que se ha decidido no combinar los valores de las estaciones de cada provincia, para analizar dichos valores y comparar unas provincias con las otras, es porque, incluso dentro de una misma provincia, los valores de los índices de claridad simultáneos son tan dispares que la combinación de ellos carece de sentido.



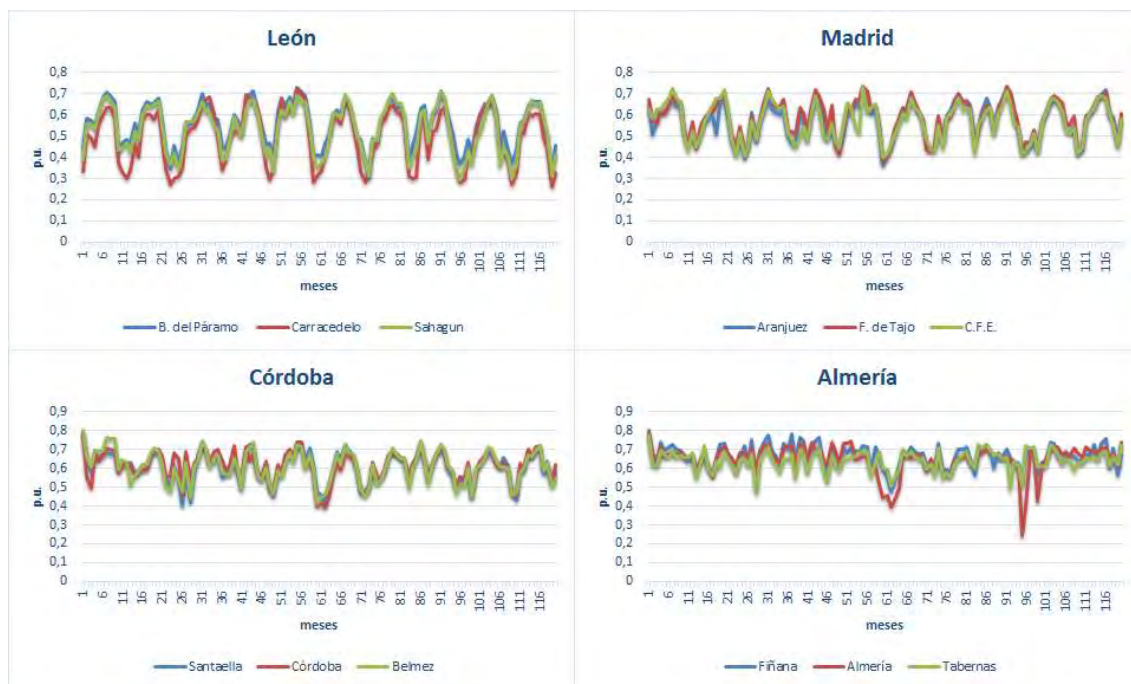


Figura 4.2.3.1.: Medias mensuales de los índices de claridad horarios provincia por provincia. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.

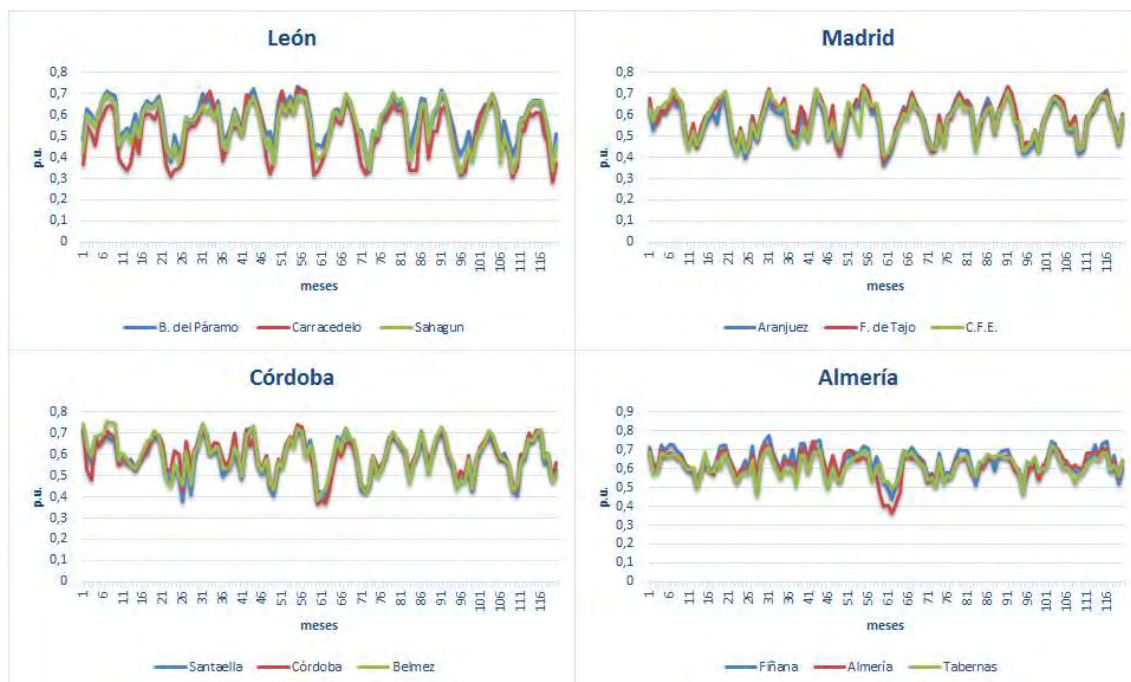


Figura 4.2.3.2.: Medias mensuales de los índices de claridad diarios provincia por provincia. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.

Las medias mensuales de los índices de claridad horarios y diarios tienen valores muy similares y comparten la misma evolución a lo largo de los meses; a excepción de los meses de Enero y Marzo del 2013 en la estación de Almería, Almería, en la cual los índices de claridad horarios están muy por debajo de sus homónimos diarios. También se aprecia al separar por provincias que, aunque las distintas estaciones de la provincia

no tengan exactamente los mismos valores, sí que son muy similares y comparten la misma evolución.

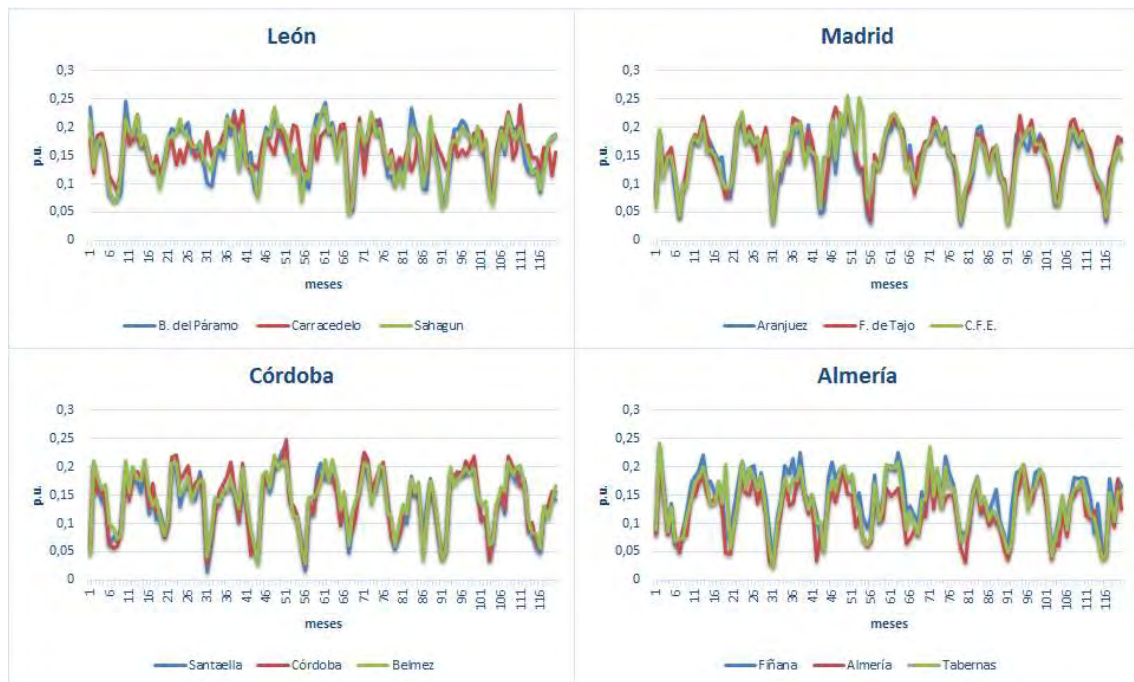


Figura 4.2.3.3.: Desviaciones típicas mensuales de los índices de claridad horarios provincia por provincia. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.

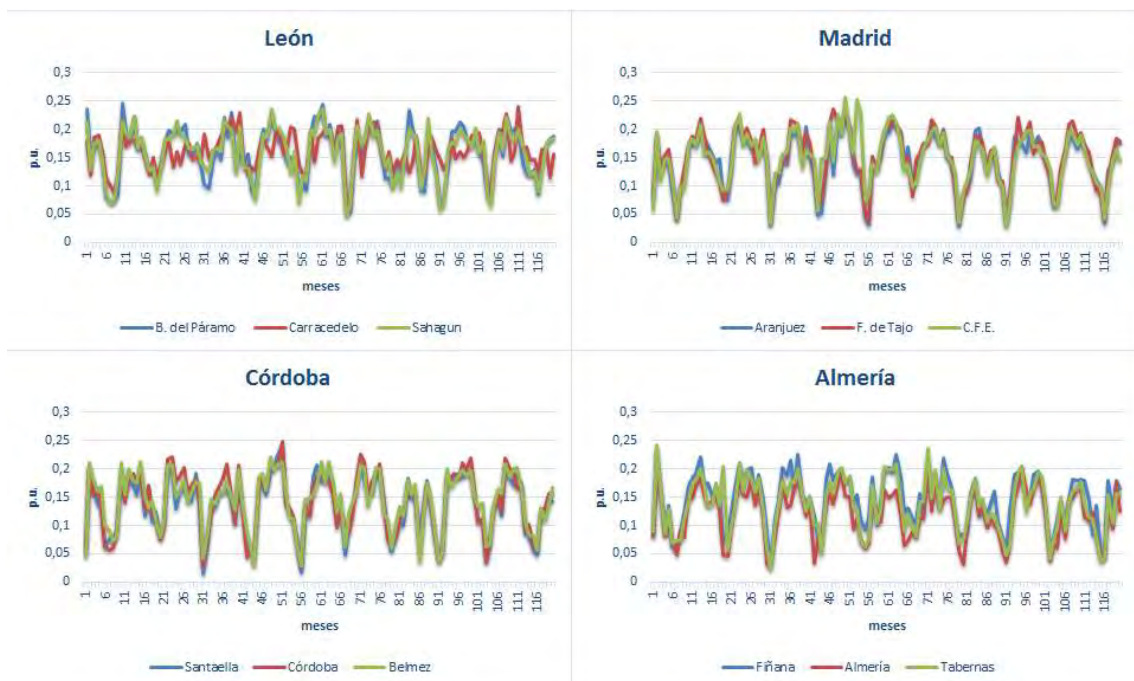
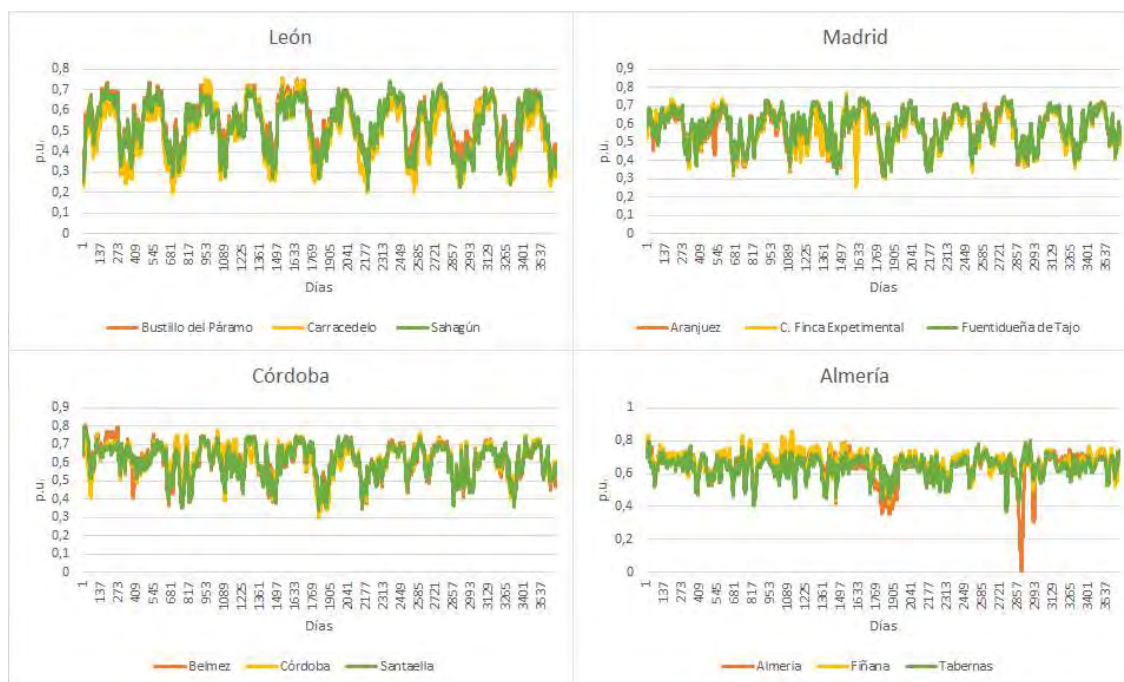


Figura 4.2.3.4.: Desviaciones típicas mensuales de los índices de claridad diarios provincia por provincia. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.

Las desviaciones típicas mensuales de los índices de claridad horarios y diarios son idénticas en valor y forma; esto significa que los datos horarios y diarios presentan a grosso modo una dispersión similar. Además, salvo excepciones puntuales, las distintas estaciones de cada provincia presentan la misma evolución de desviaciones típicas mensuales, lo cual implica que la climatología evoluciona mensualmente de forma conjunta.



*Figura 4.2.3.5.: Media de cada día tomando los datos de: dicho día, diez hacia delante y diez hacia detrás de los índices de claridad horarios provincia por provincia. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.*



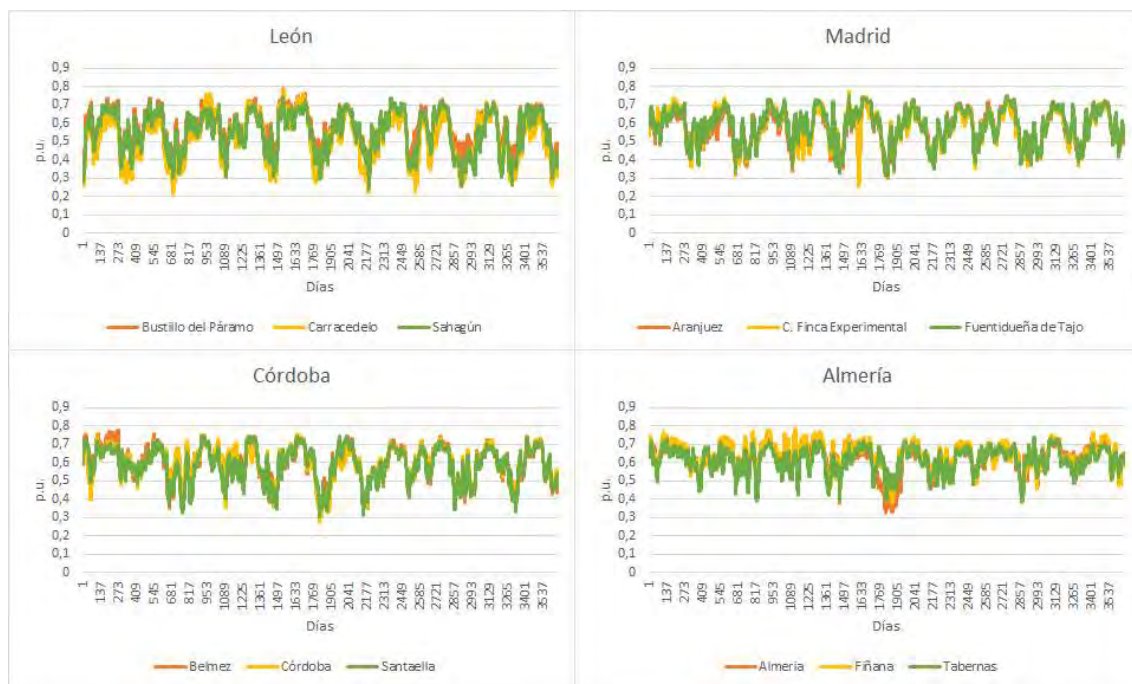


Figura 4.2.3.6.: Media de cada día tomando los datos de: dicho día, diez hacia delante y diez hacia detrás de los índices de claridad diarios provincia por provincia. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.

La discrepancia entre los datos horarios y diarios en otoño del 2011 en la estación de Almería, Almería, siembra la duda de que haya un conjunto de datos horarios erróneos en esa estación para esas fechas. Por otro lado, la coincidencia del valle en la estación de C. Finca Experimental, Madrid, en verano del 2009 hace pensar que dicha irregularidad, respecto a las demás estaciones, si pueda ser un evento atípico real.

En cuanto a los valores de la media de cada día, tomando los datos de: dicho día, diez hacia delante y diez hacia detrás, de los índices de claridad diarios provincia por provincia se puede apreciar nuevamente que dentro de cada provincia las distintas estaciones comparten una misma evolución. Pero si se comparan las provincias entre sí se puede ver que las ondas generadas por el conjunto de medias no comparten amplitud, nodo de oscilación ni forma. Comparándolas y sabiendo la climatología y geografía de las distintas provincias se pueden sacar algunas conclusiones: como que la proximidad al mar (clima oceánico) genera una menor variación anual (amplitud) de los índices de claridad; o que una geografía accidentada (clima montañoso) presenta una mayor variación anual (amplitud) de los índices de claridad (tomando en ambos casos el clima continental como referencia). También, fijándose en los nodos de oscilación, se puede concluir que cuanto mayor sea la latitud menor será el nodo.

Finalmente mencionar que, aunque se ha indicado que no comparten forma, sí que comparten una semejanza considerable al ampliar y analizar año a año. Dicha semejanza se debe, con una alta probabilidad, a que los distintos frente climáticos les afectan de forma muy similar; esta se ve especialmente bien al comparar las provincias de Madrid y Córdoba (ambos climas continentales).

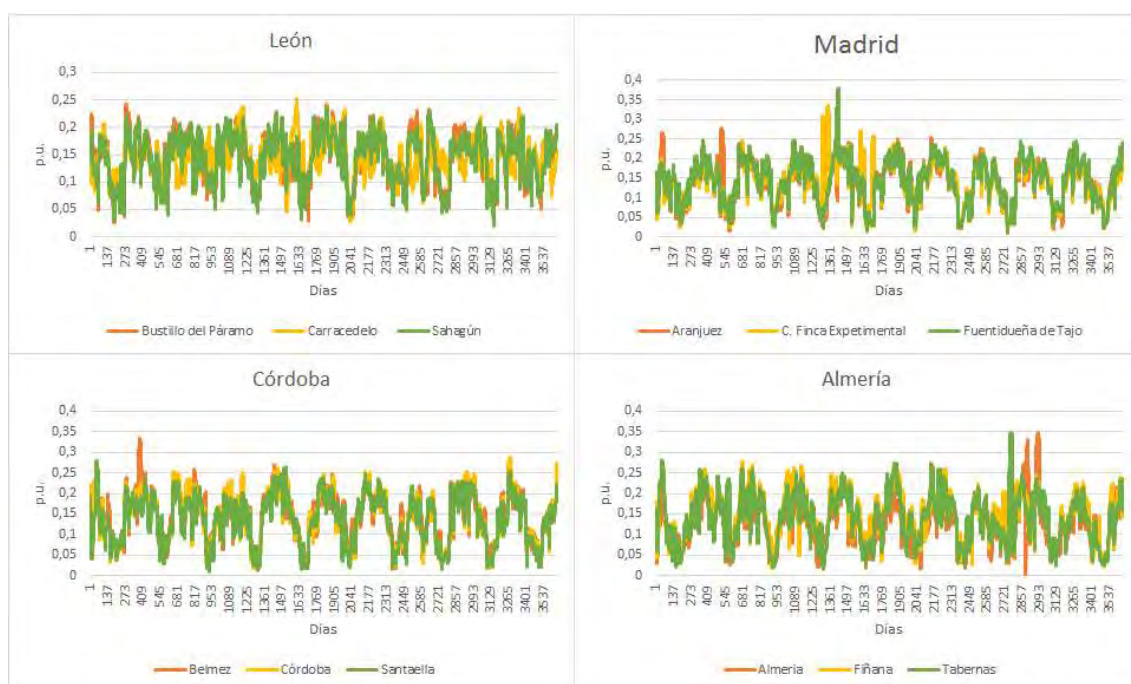


Figura 4.2.3.7.: Desviación típica centrada en cada día tomando los datos de: dicho día, diez hacia delante y diez hacia detrás de los índices de claridad horarios provincia por provincia. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.

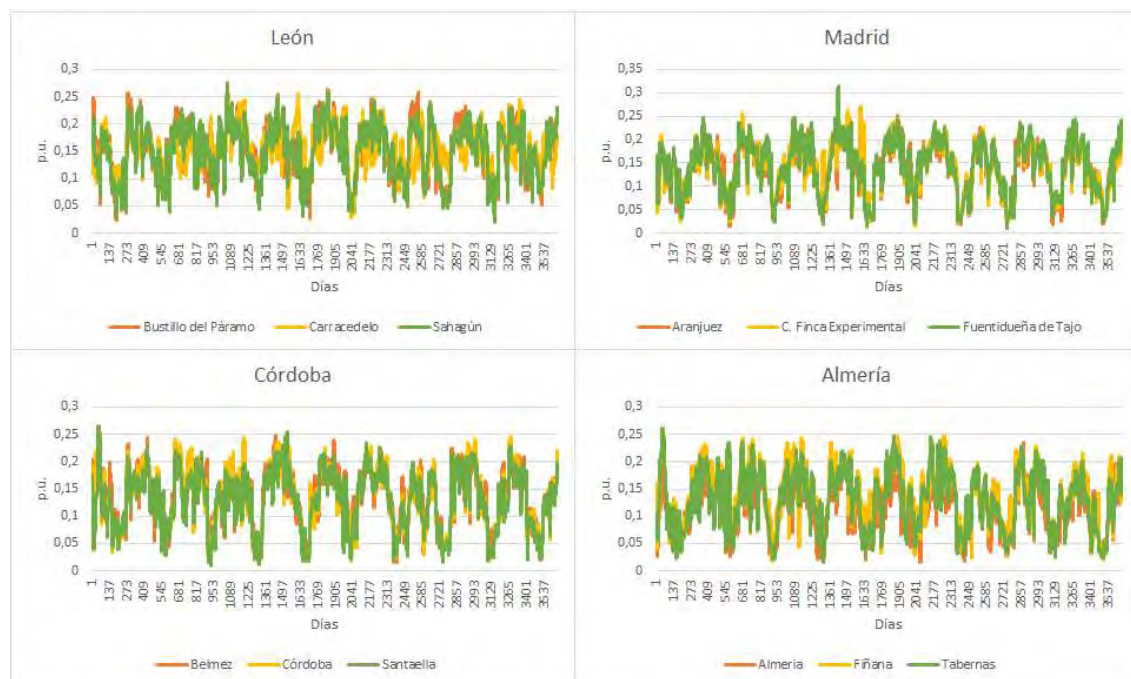


Figura 4.2.3.8.: Desviación típica centrada en cada día tomando los datos de: dicho día, diez hacia delante y diez hacia detrás de los índices de claridad diarios provincia por provincia. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.

Al igual que en el resto de las gráficas, se puede ver la frecuencia anual; en este caso a partir del aumento y disminución de la dispersión a lo largo del año (estando el

mínimo en verano y el máximo en invierno). En torno a invierno en franjas de veintidós días la dispersión de los índices de claridad llega a superar el veinticinco por ciento mientras que en torno a verano se mantiene por debajo del diez por ciento.

Un punto relevante es que todas las provincias presentan valores muy similares. Además, dentro de cada provincia las distintas estaciones tienen una evolución bastante parecida. Esto significa que la dispersión es muy similar en toda la provincia; aunque cada ubicación tenga sus propias particularidades.

Nota: los gráficos de desviación media centrada en cada día, tomando los datos de: dicho día, diez hacia delante y diez hacia detrás, no se han incluido por ser muy similares a sus homónimos con desviación típica.

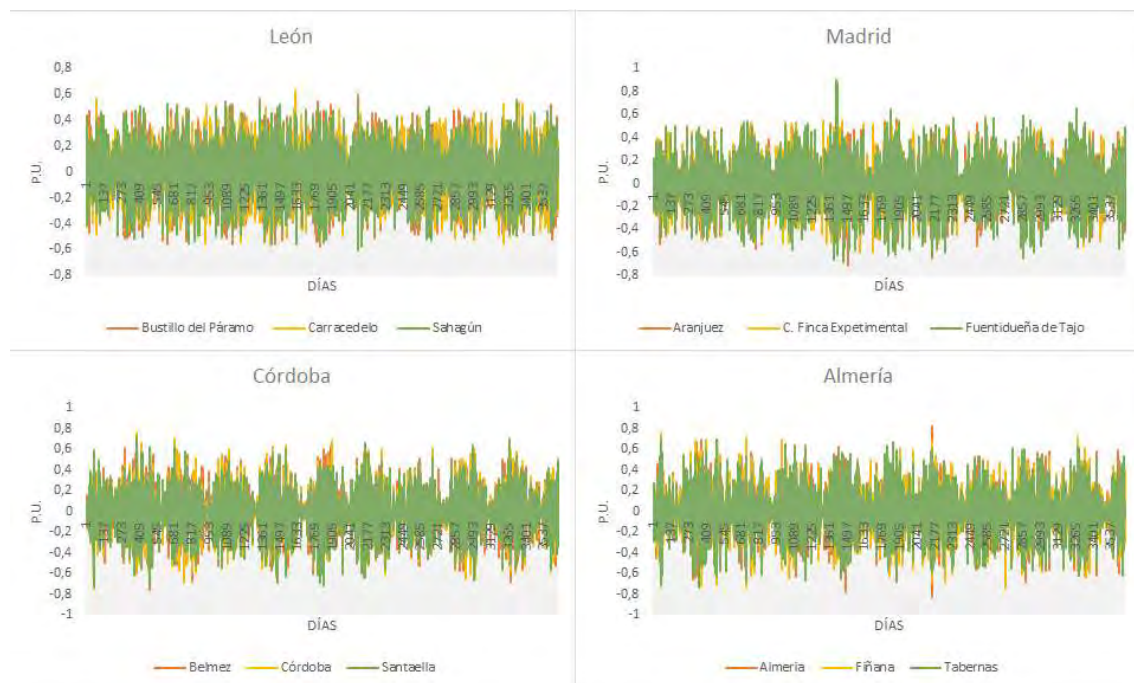


Figura 4.2.3.9.: Diferencia entre días consecutivos, con signo, de los índices de claridad horarios provincia por provincia. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.



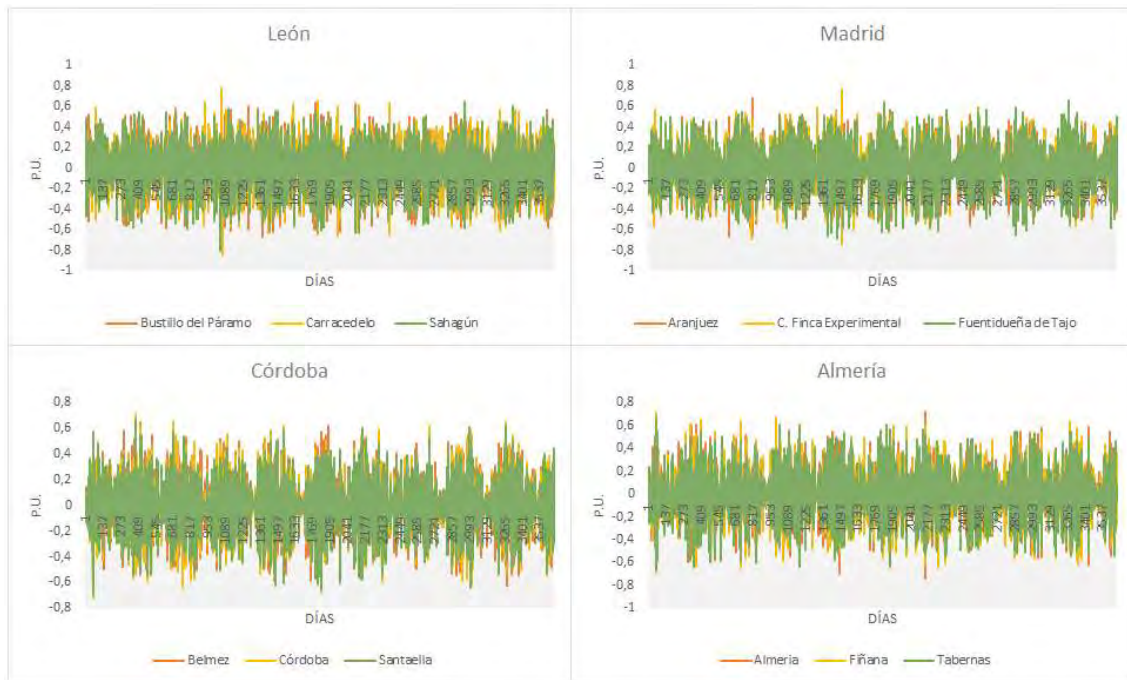


Figura 4.2.3.10.: Diferencia entre días consecutivos, con signo, de los índices de claridad diarios provincia por provincia. Imagen generada en Excel a partir de los datos calculados en Matlab.

Hay dos detalles llamativos de las diferencias de los índices de claridad entre días consecutivos con signo. El primero es que en verano las diferencias son menores; lo cual era de esperar debido a la menor cantidad de nubosidad. Y el segundo es que la provincia de Almería no presenta unas diferencias menores que el resto de provincias a pesar de que las medias de conjuntos de veintiún días eran mucho más constantes a lo largo del año. Esto también era de esperar después de ver las desviaciones típicas de conjuntos de veintiún días.

#### 4.2.4. Análisis de los datos de índices de claridad horarios y diarios en conjunto de todas las estaciones

Un punto muy interesante a analizar son los frentes climatológicos. Existe una relación directa entre la climatología y los índices de claridad; por ello, si en un punto, a partir de los índices de claridad, se lograra identificar la entrada de un frente climático determinado, que vaya afectar al resto de la península, se podrán relacionar los índices de claridad entre unos puntos y otros en el tiempo. Esto sería enormemente útil tanto para la creación de filtros al aplicar el MBB como para elaborar modelos predictivos de recurso solar. Lamentablemente las distintas aproximaciones intentadas han dado una dependencia muy baja de los índices de claridad de un día y de una estación dados respecto a los índices de claridad del resto de las estaciones de medida en los días anteriores; ni siquiera considerando los sólo los datos de las estaciones de la misma provincia. Otros factores que han resultado mucho más influyentes han sido la altitud, la

latitud u otros no tan cuantificables como la geografía colindante, la proximidad al mar o los microclimas.

Además, la diferencia de índices de claridad entre estaciones es tan grande que no sólo no se pueden intercambiar días entre provincias, sino que incluso dentro de la propia provincia no es posible intercambiar días entre estaciones.

### 4.3. Procesamiento de los datos de temperatura

La potencia entregada por una célula fotovoltaica determinada depende principalmente de dos factores: la Irradiancia (cantidad de energía incidente, y por tanto máxima disponible) y la temperatura (inversamente proporcional a la tensión de salida de la célula). Aunque es cierto que cuanto menor sea la temperatura mayor será la tensión de salida, y por tanto la potencia entregada por la célula, dicha variación, aunque relevante, no es muy grande para temperaturas próximas a la temperatura de operación nominal de la célula. Aun así, se ha considerado relevante disponer de una temperatura aproximada junto a los valores de irradiancia tras la aplicación del MBB.

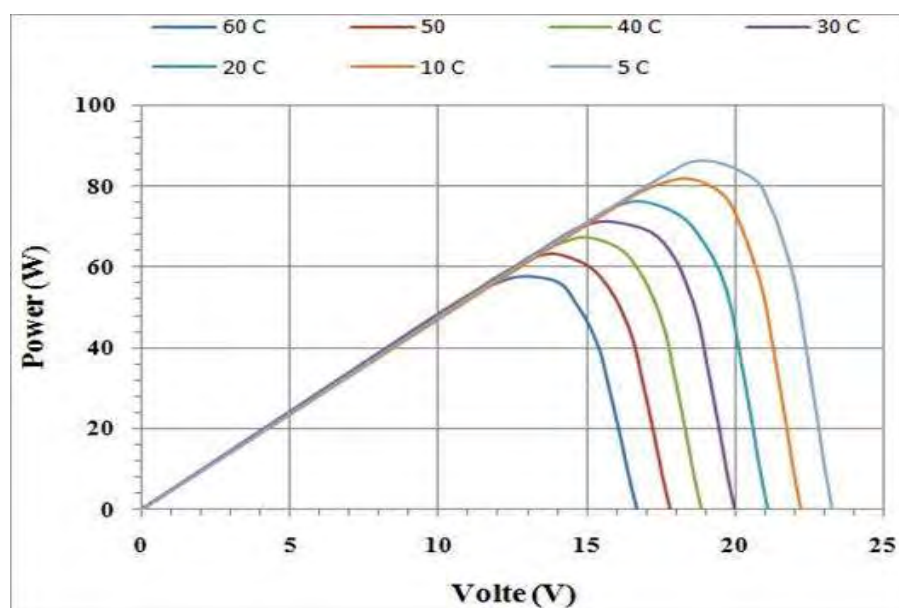


Figura 4.3.1.: Potencia de una célula PV en función de la tensión de salida para varias temperaturas (*The Impact of the Environmental Condition on the Performance of the Photovoltaic Cell*, 2016).

Para ello se han tomado a la par que los datos de radiación los de temperatura, pero dichos datos tienen sentido precisamente junto a los de irradiancia no junto a índices de claridad. Por ello se ha optado por modelizar la temperatura a partir de la radiación de las dos horas anteriores y unos coeficientes obtenidos por regresión lineal a partir de los datos. Los valores de radiación saldrán al multiplicar los índices de claridad por la radiación extraterrestre del lugar y día correspondientes. En cuanto a los coeficientes se calcularán para cada mes y para cada estación. Aunque sería más preciso

calcularlos para franjas de veintiún días, por ejemplo, la exactitud del valor de temperatura que se necesita para evaluar el rendimiento de una placa fotovoltaica puede tener un error de más/menos diez grados centígrados y apenas presentaría un error del cinco por ciento en la potencia entregada [36]. Más adelante se verá como con estos coeficientes mensuales apenas se tiene un error en la predicción de temperatura de un par de grados, y menor incluso en las horas centrales del día; las cuales son las más importantes por su nivel de radiación.

$$T = \beta_0 + \beta_1 \cdot G(t - 2) + \beta_2 \cdot G(t - 1) \quad (4.3.1)$$

Siendo  $T$  la temperatura,  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$  los coeficientes calculados para cada mes y estación y  $G$  el valor de radiación dos horas ( $t - 2$ ) y una hora ( $t - 1$ ) antes. La razón por la que a  $\beta_1$  se le ha asignado la radiación dos horas antes es porque, para clima continental (sin importar la latitud), es una variable de mayor peso; dicho de otra manera, la temperatura es mucho más dependiente de la radiación dos horas antes que de la radiación en la hora anterior. También se probó la dependencia con la radiación en la misma hora, pero al ser esta muy pequeña se descartó. El caso de Almería donde su clima costero provoca que la dependencia de la temperatura con la radiación sea menor y más relevante la radiación de la hora anterior que la de las dos horas anteriores. Aunque ambas siguen teniendo un p-valor enormemente inferior a 0.05.

En un inicio se planteó la posibilidad de hacer unos coeficientes para toda la península que tuvieran tres términos más: latitud, longitud y altitud; pero la dependencia de los datos con dichas variables no era suficiente. Aunque a primera vista parezca obvia la enorme dependencia de estas variables con la temperatura existen otras como la proximidad del mar o la geografía que generan microclimas y por tanto son mucho más relevantes. Por ello se hicieron coeficientes por estación ya que incluso dentro de una misma provincia la diferencia llega a ser demasiado grande. La única que, tolerando un error mayor en la estimación de la temperatura, podrían hacerse unos coeficientes conjuntos para toda la provincia es Almería; eso sí añadiendo la altitud como variable explicativa (latitud y longitud quedaban como variables poco relevantes y al no tener más cantidad de localizaciones, y que estas tuvieran alturas similares, quedaban absorbidas por la variable de la altitud). (Anexo 5.1).

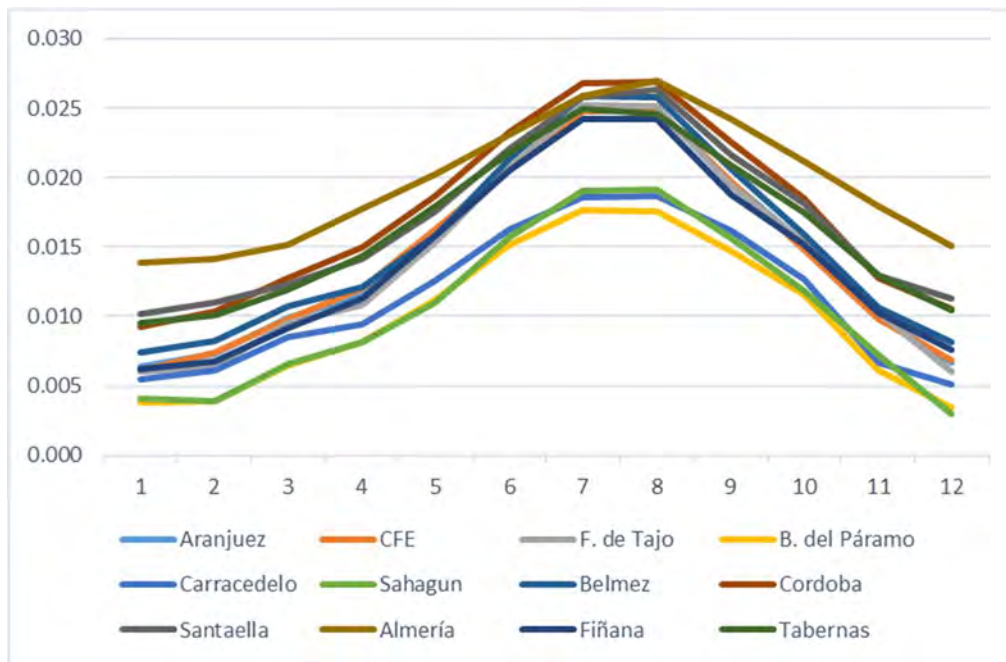


Figura 4.3.2.: Coeficientes  $\beta_0$  Temperatura-Radiación por mes y estación (Fuente: propia; generada usando datos de eportal medio horarios)

En la figura [4.3.2.] se puede apreciar la influencia del mar en la estación de Almería. Los coeficientes  $\beta_0$  son mucho más planos que sus estaciones vecinas de provincia; lo cual tiene sentido ya que las temperaturas a lo largo del año son mucho más suaves. También se puede apreciar que las estaciones de León (Bustillo del Páramo, Carracedelo y Sahagun) tiene coeficientes más bajos fruto principalmente de la mayor latitud ya que ninguna está situada en zona montañosa. Y comparando dichas estaciones se puede apreciar como la de Carracedelo tiene menor variación de temperatura seguramente como consecuencia de su menor altitud y su proximidad al río Cúa. También indicar la importancia de la altitud y geografía colindante analizando las estaciones de Almería (Almería, Fiñanas y Tabernas), donde se ratifica el principio de que cuanto mayor altitud menor temperatura.

Haciendo unos coeficientes conjuntos para las estaciones de Almería (alturas de las estaciones: 22, 435 y 971 metros sobre el nivel del mar siendo Almería, Tabernas y Fiñana respectivamente): (Anexo 5.2).

Al introducir  $\beta_3$  para unir los coeficientes de las tres estaciones añadimos más error al cálculo de la temperatura. Por el mismo motivo se han estado utilizando dos variables, la radiación una y dos horas antes, en lugar de tres; la radiación de la misma hora era la variable menos explicativa por lo que fue la que se dejó fuera.

## 5. Resultados

A continuación, se presentarán los resultados de las tres implementaciones del MBB. Sin embargo, sólo se mostrarán los estadísticos más relevantes para determinar si la implementación es válida y, en el caso de que lo sea, los estadísticos más interesantes a analizar. Estos serán: análisis de frecuencia para verificar que se mantiene la componente anual (la diaria siempre se mantendrá, ya que los bloques están formados por días enteros), la diferencia entre días consecutivos para evaluar si surgen valores superiores a los de los datos iniciales y como afectan las uniones entre bloques a la sucesión de días (aunque este estadístico se ha presentado día a día para buscar alguna distribución a lo largo del año también podría ser interesante analizarlo de forma anual; comparar los años de los datos con un conjunto de ejemplos; pero la presentación de dichos estadísticos habría sido tediosa y por esa razón no se han mostrado), las medias y desviaciones típicas mensuales para verificar si se mantiene la distribución de los resultados respecto a los datos y las medias y desviaciones típicas de franjas de veintiún días de las que se podrá extraer conclusiones interesantes.

### 5.1. Aplicación del algoritmo MBB1

Primero se presentarán los resultados del MBB1. Como se describió en el punto 3.3. el MBB1 emplea un tamaño de bloque fijo de tres días y una banda fija de intervalos de treinta días con selección de tandas de veinte/veintiún días que irá avanzando esa misma cantidad de días según se crea cada tanda.

Una vez se han generado las cien series anuales de trescientos sesenta y cinco días, cogiendo datos simultáneos de todas las estaciones, se analizarán comparándolas con los datos originales de cada estación respectivamente. La razón por la que no se han sintetizado los años seguidos como una gran serie de cien años, sino que se han sintetizado de forma individual es porque los propios datos se han procesado al aplicar el MBB como series independientes y no como una serie de diez años de datos (su orden cronológico no ha sido tomado en consideración). Para evaluar la calidad de las series sintéticas se emplearán los estadísticos ya presentados.

Se presentarán a continuación los resultados de las cien series anuales, simultaneas para las doce estaciones, generadas aplicando el MBB1:

Ejemplo de un año sintetizado: Santaella, Córdoba



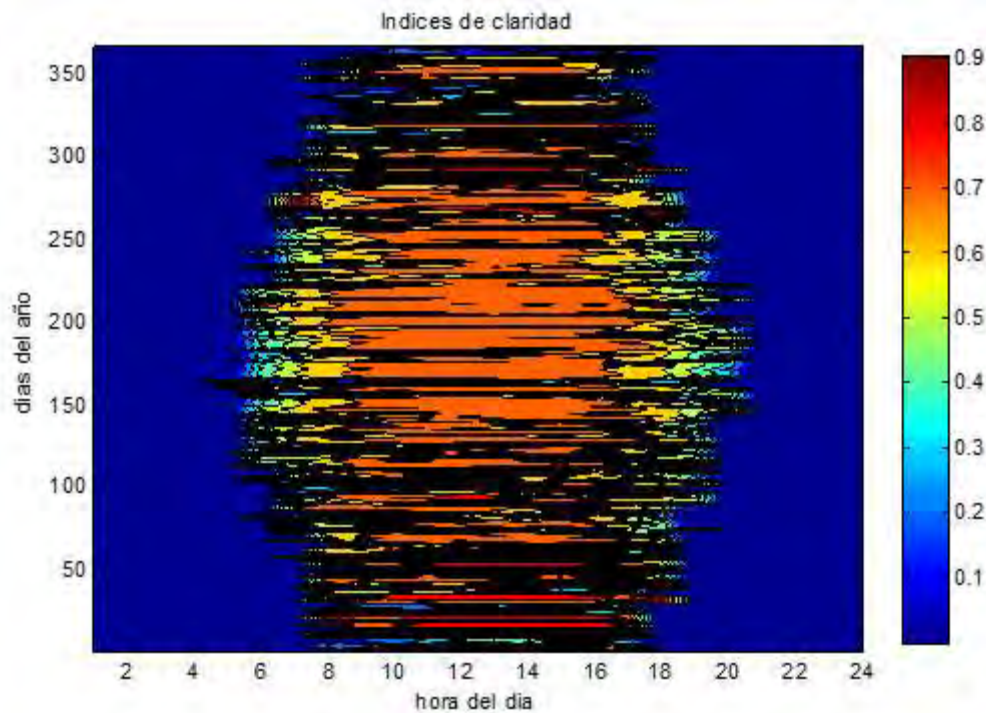


Figura 5.1.1.: Índices de claridad de un año sintetizado empleando el MBB1 sobre los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen generada usando *contourf* de Matlab.

Presenta algunos saltos entre días consecutivos pero la forma general es muy similar a las de los años de datos.

Análisis de las frecuencias fundamentales de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados con los datos de Santaella, Córdoba:

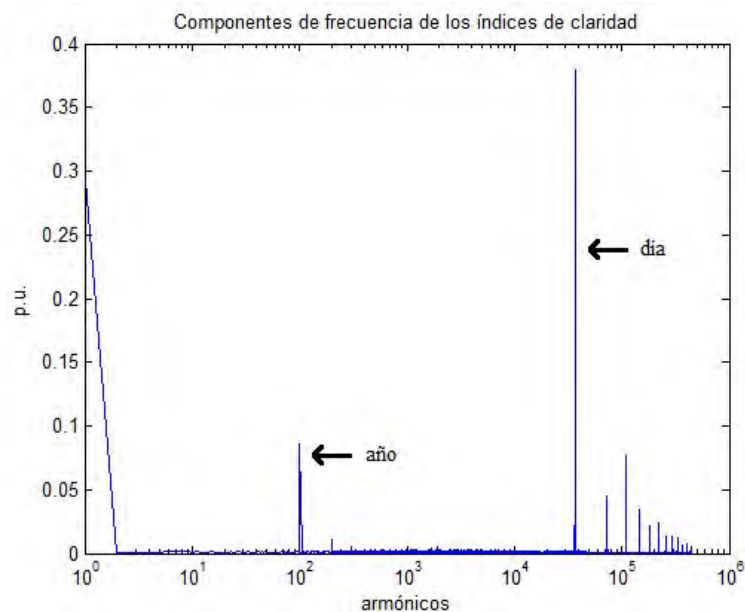


Figura 5.1.2.: Componentes de frecuencia de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un análisis FFT y generada usando Matlab.

Como se podía predecir tras ver la figura 5.1.1.1. se mantiene la componente de frecuencia anual.

Aunque las diferencias entre días consecutivos presentan resultados interesantes y útiles, nuevamente, para evitar extender demasiado el documento se presentará sólo una muestra sobre la que apoyar las conclusiones sobre los resultados:

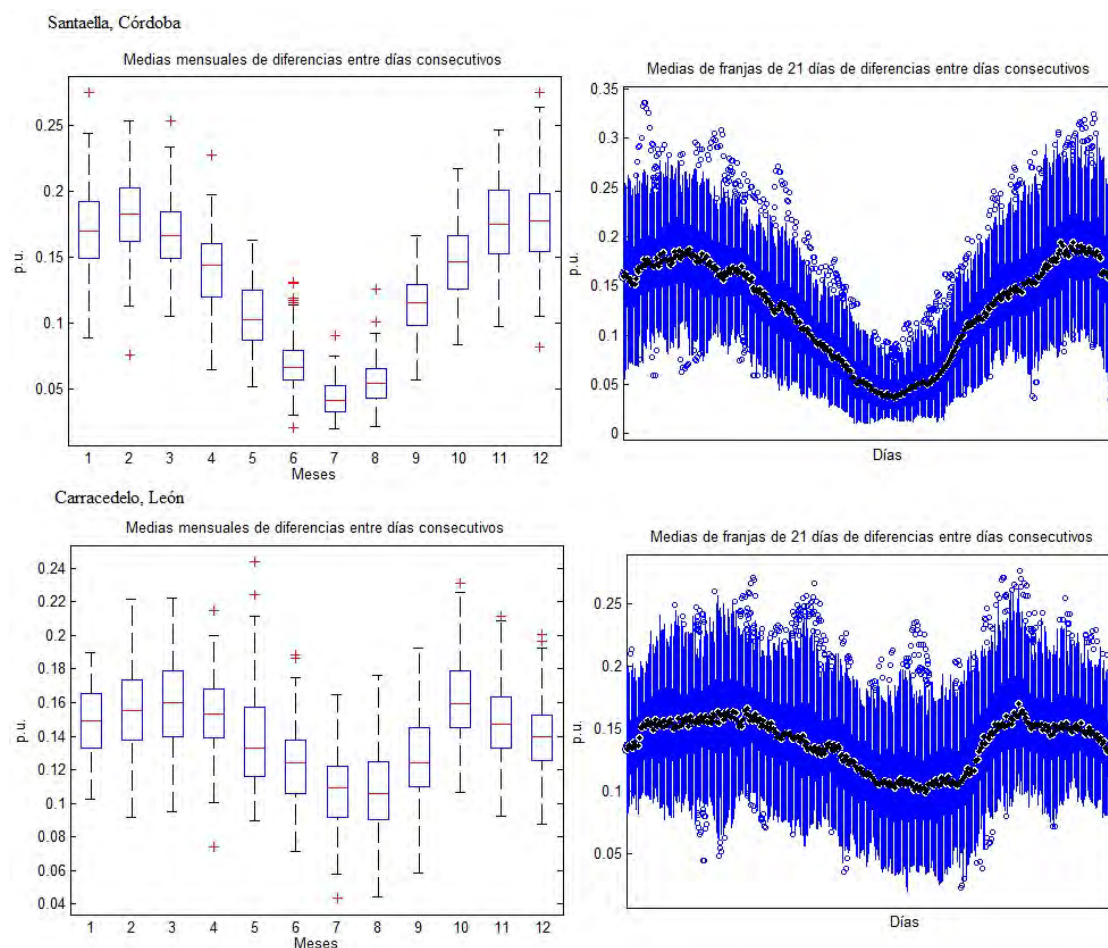


Figura 5.1.3.: Diagramas de cajas de las medias mensuales y medias de franjas de veintiún días de las diferencias entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Santaella, Córdoba, y Carracedelo, León. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

Todas las estaciones presentan unos valores medios que oscilan entre 0.25 y 0.04 p.u. de diferencia entre días consecutivos. No obstante, aunque dichos valores evolucionan de forma muy similar, sí que existe una tendencia a que las medias aumenten en verano con la latitud; como se observa en la figura 5.1.3. (las diferencias entre las gráficas de las provincias de Almería y Córdoba son mínimas, por lo que la influencia climática del mar no afecta a este estadístico; entre estas y las de Madrid tampoco hay una diferencia muy marcada, aunque sí ligeramente la tendencia que se ha

descrito; pero si comparamos las gráficas de las tres anteriores provincias con las de León sí que existe una marcada diferencia y en especial con la estación de Carracedelo). Esta tendencia probablemente se deba a que las precipitaciones en el norte de España son muy superiores a las del resto de la península, pero este estadístico es complicado de analizar. Al analizar las diferencias entre días consecutivos se buscaba verificar si aumentaban significativamente fruto de las uniones entre bloques al aplicar el MBB; y, como se observa al comparar las figuras 5.1.17. y 5.1.18., así ha sido.

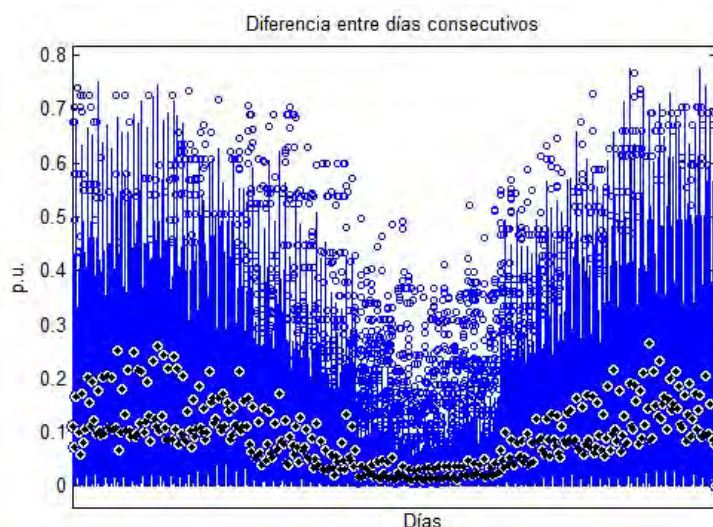


Figura 5.1.4.: Diagramas de cajas de la diferencia entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

Todas las estaciones presentan, para las diferencias entre días consecutivos (analizadas día a día), una distribución y valores similares. Aunque sí que existe una tendencia a que aumente la dispersión según disminuye la latitud.

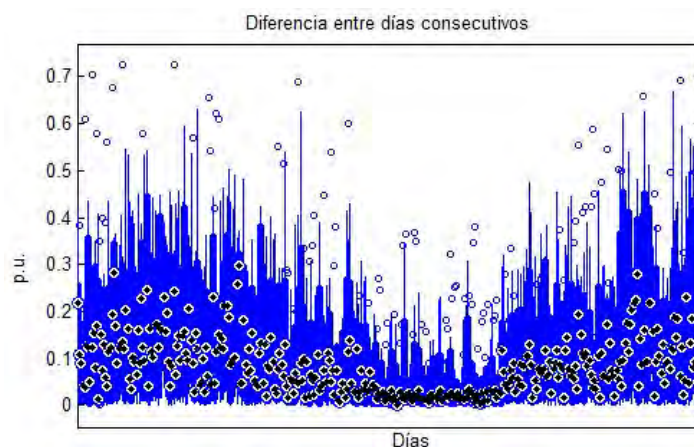


Figura 5.1.5.: Diagramas de cajas de la diferencia entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de años de datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

También es interesante analizar cómo evolucionan los índices de claridad a lo largo del año para una hora concreta:



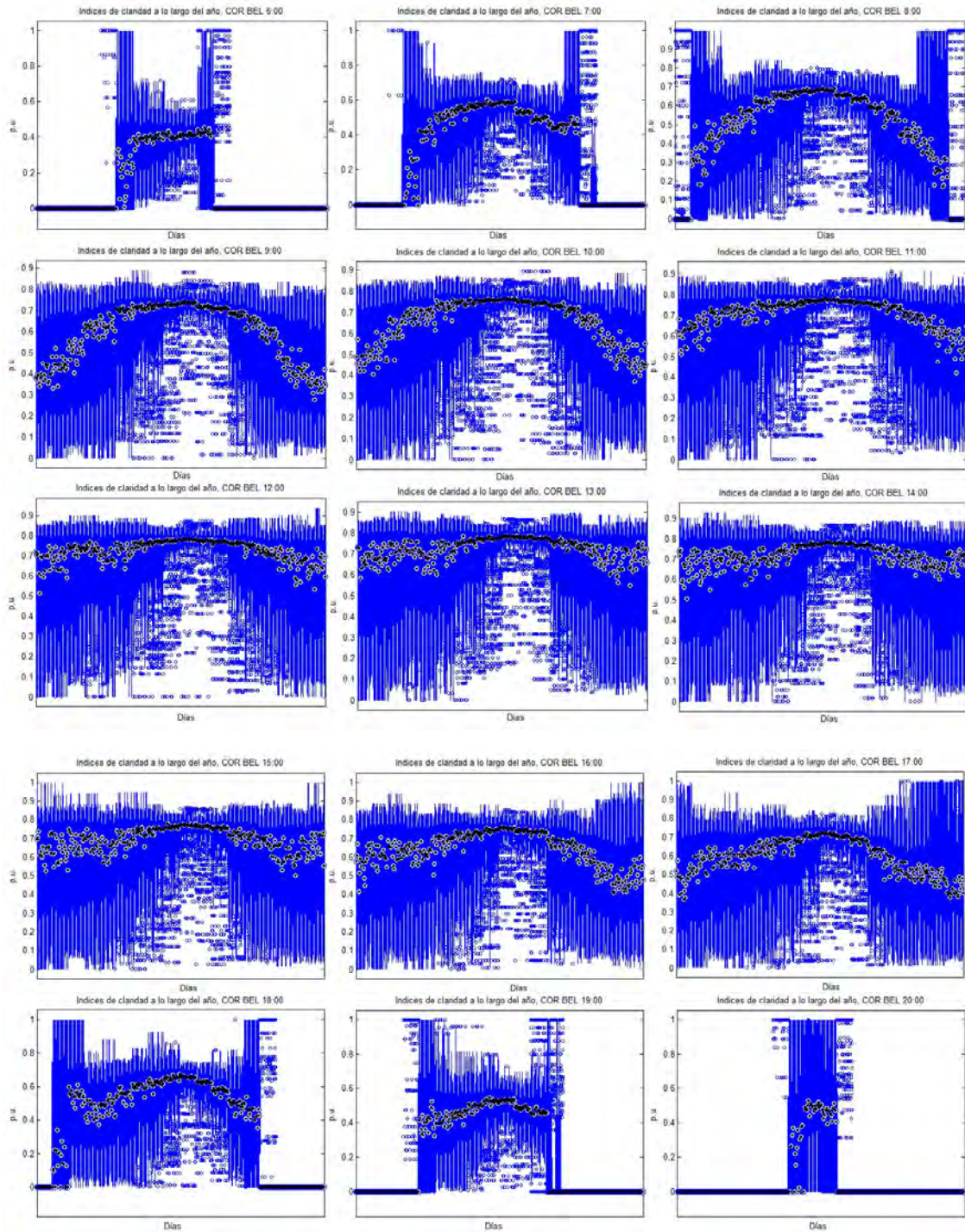


Figura 5.1.6.: Diagramas de cajas, día a día a lo largo del año para una hora determinada, de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Belmez, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

Aunque corresponde a un estudio predictivo determinar la cantidad de recurso solar real de la que dispondrá una ubicación determinada, estos resultados muestran la tendencia horaria en función de la época del año. Siendo especialmente interesante en torno a verano, donde la dispersión es menor.

También es interesante estudiar la evolución a lo largo del día del recurso solar para días concretos del año:

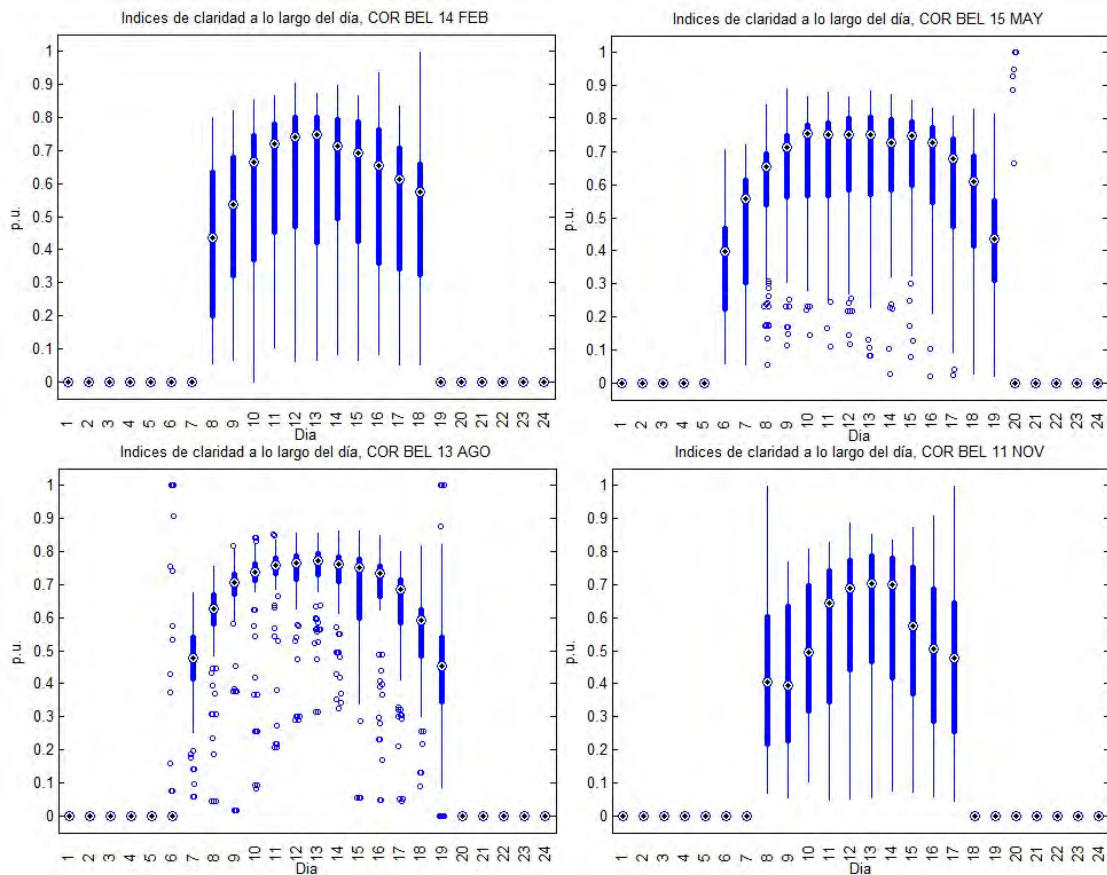


Figura 5.1.7.: Diagramas de cajas, hora a hora para un día determinado, de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Belmez, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

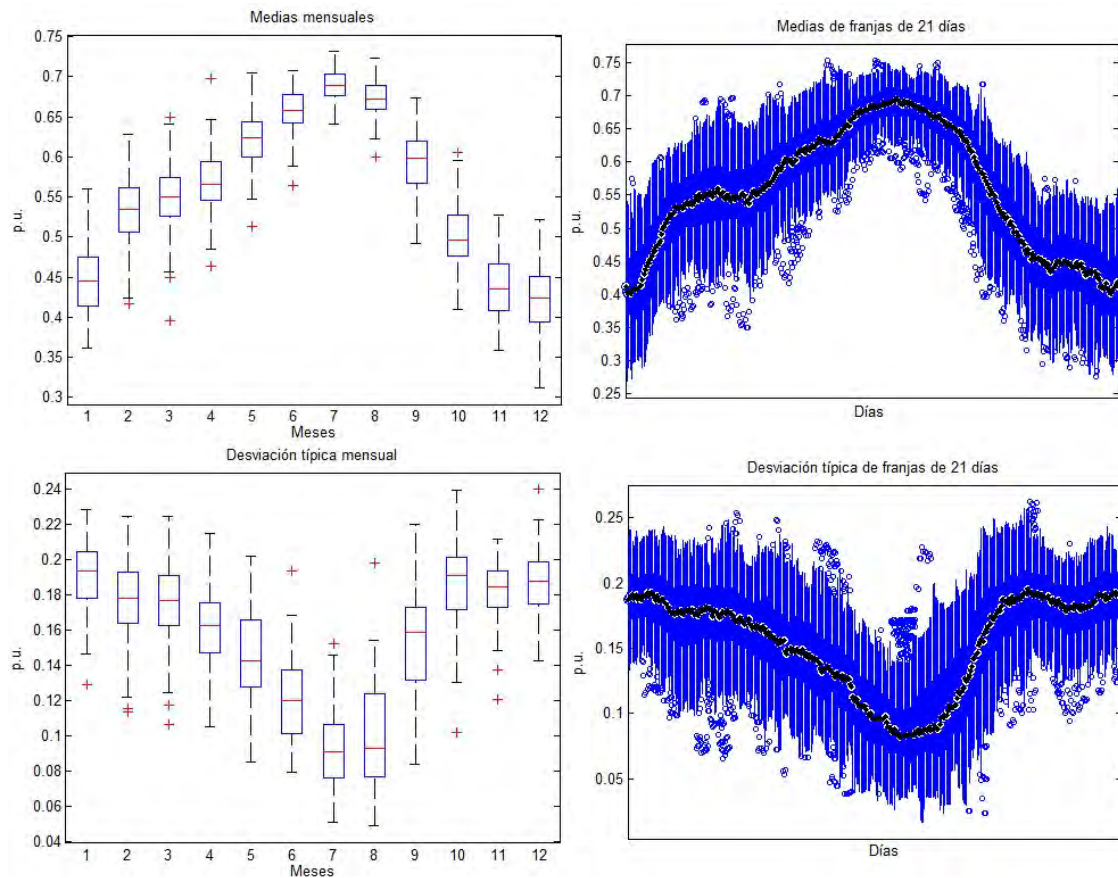
Se puede apreciar claramente la tendencia de los índices de claridad horarios en función de la época del año del día seleccionado.

A continuación se presentarán, estación por estación, los diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintidós días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintidós días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1:



**León:**

**Bustillo del Páramo:**



*Figura 5.1.8.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Bustillo del Páramo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.*

Las medias y desviaciones típicas mensuales conservan la distribución de valores a lo largo del año de los datos (todas las demás estaciones también las conservan bastante bien por lo que sólo se pondrá a modo de ejemplo aquí los diagramas de cajas de las medias y desviaciones típicas mensuales de los datos de Bustillo del Páramo, León):

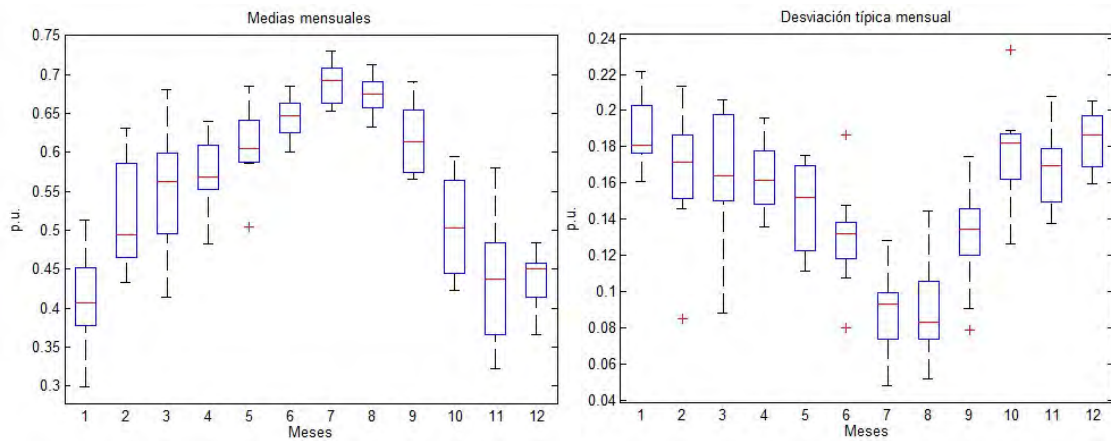


Figura 5.1.9.: Diagramas de cajas de las medias y las desviaciones típicas mensuales de los índices de claridad horarios de los datos horarios de Bustillo del Páramo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

En las medias y desviaciones típicas de franjas de veintiún días se ve que la distribución de los valores es muy simétrica. El diagrama de cajas de las medias de franjas de veintiún días permite ver la tendencia de los índices de claridad a lo largo del año; pudiendo plantear con ellos en torno a cuanto valdrán los índices de claridad en función de la época del año. Además, el diagrama de cajas de las desviaciones típicas de franjas de veintiún días muestra cómo evoluciona la dispersión de los índices de claridad a lo largo del año.

Nota: Las gráficas de las demás estaciones y las de los datos diarios están en el anexo 6.1.

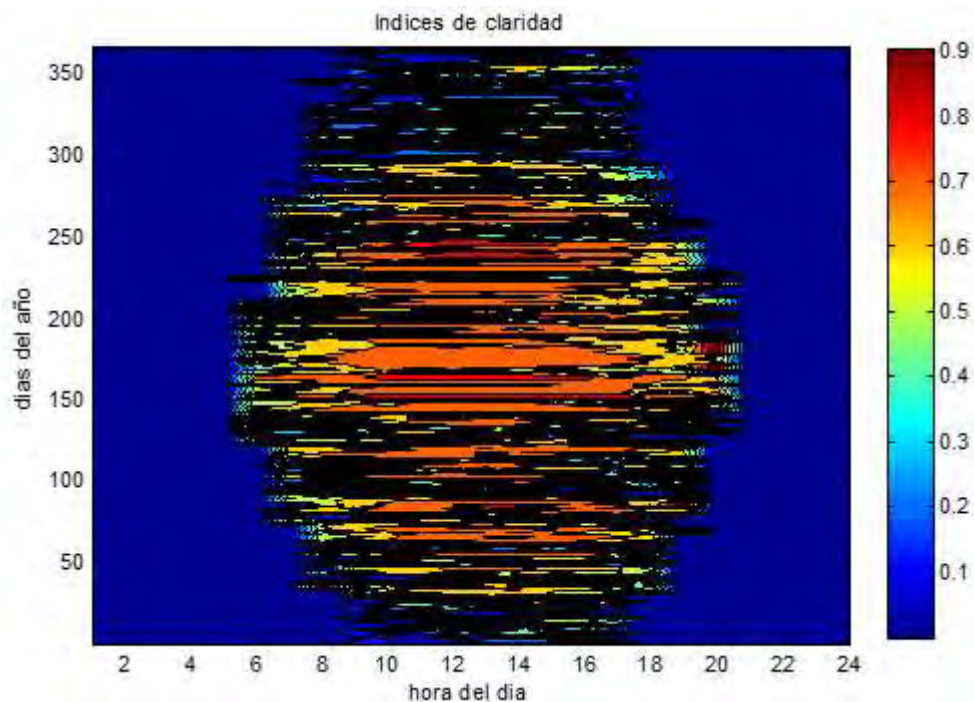
## 5.2. Aplicación del algoritmo MBB2

Ahora se presentarán los resultados del MBB2. Como se explicó en el punto de implementaciones del MBB esta segunda versión no tendrá bloque grande, sino que la banda de selección será móvil. Cada vez que se seleccione un bloque (conjunto fijo de tres días) se desplazara el rango de selección esa misma cantidad de días. La anchura de la banda de selección será tal que no permita que la diferencia de horas de luz entre dos días consecutivos (uniones entre bloques) sea superior a una hora.

Resumiendo, el MBB2 irá cogiendo bloques de tres días de franjas de más/menos diez días respecto el día central donde se colocará el bloque; dicho bloque pertenecerá a cualquiera de los años de datos registrados. Este proceso se repetirá hasta tener un año sintético.

Se presentarán a continuación los resultados de las cien series anuales, simultaneas para las doce estaciones, generadas aplicando el MBB2:

Ejemplo de un año sintetizado: Carracedelo, León



*Figura 5.2.1.: Índices de claridad de un año sintetizado empleando el MBB2 sobre los datos horarios de Carracedelo, León. Imagen generada usando contourf de Matlab.*

Análisis de las frecuencias fundamentales de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados con los datos de Carracedelo, León:



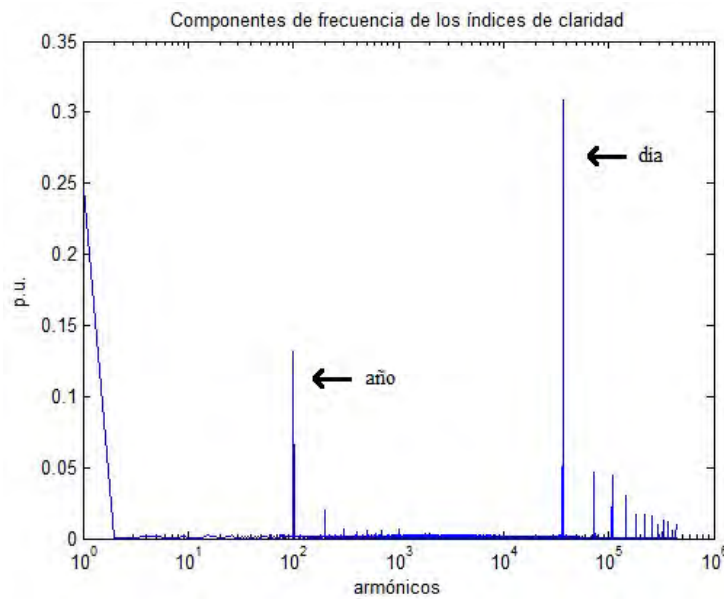


Figura 5.2.2.: Componentes de frecuencia de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Carracedelo, León. Imagen obtenida a partir de un análisis FFT y generada usando Matlab.

Diferencias entre días consecutivos:

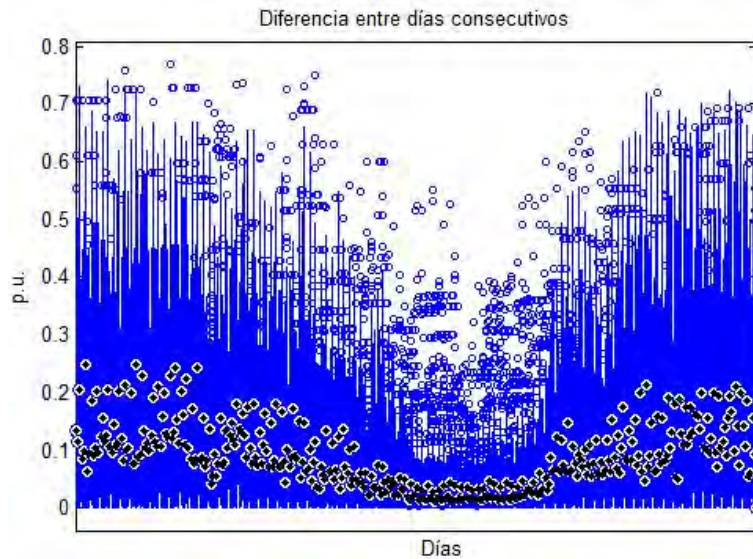


Figura 5.2.3.: Diagramas de cajas de la diferencia entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

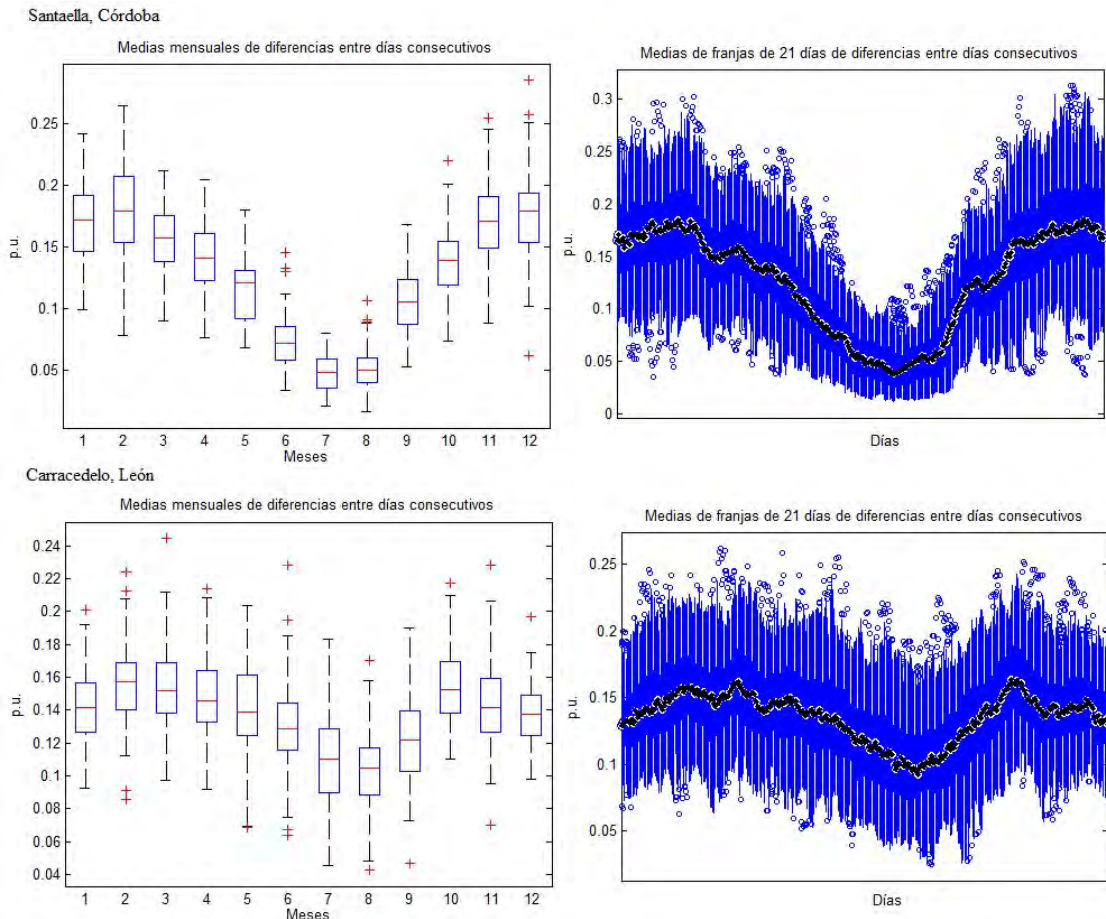
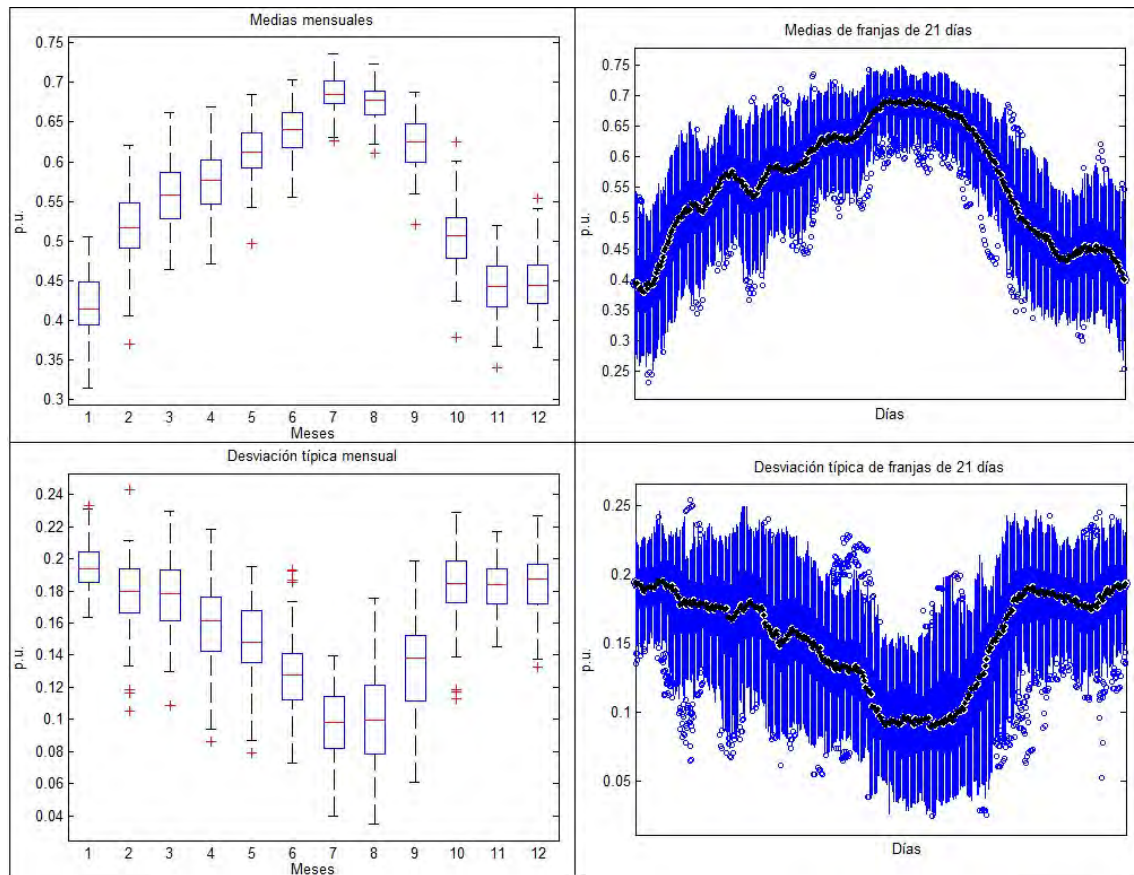


Figura 5.2.4.: Diagramas de cajas de las medias mensuales y medias de franjas de veintiún días de las diferencias entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Santaella, Córdoba, y Carracedelo, León. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

A continuación se presentarán, estación por estación, los diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2:

**León:**

**Bustillo del Páramo:**

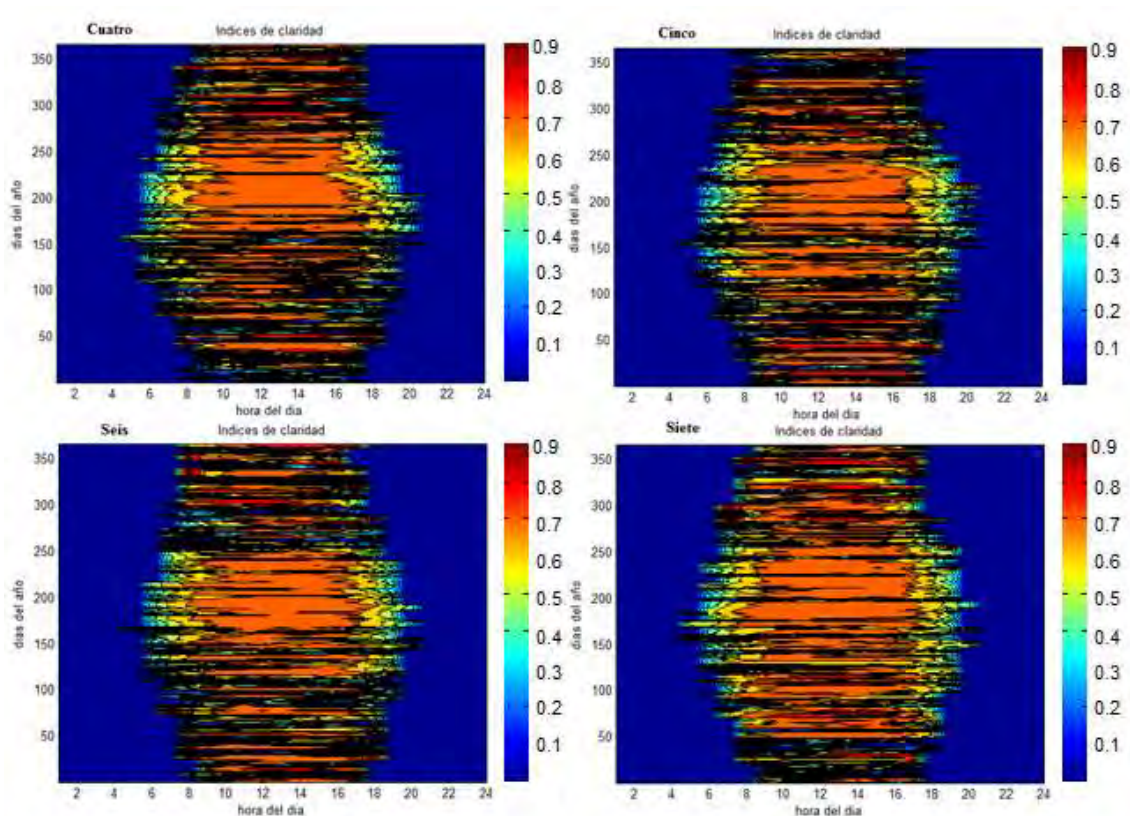


*Figura 5.2.5.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Bustillo del Páramo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.*

Nota: Las gráficas de las demás estaciones y las de los datos diarios están en el anexo 6.2.

A modo de ejemplo se presentarán los resultados de la aplicación del MBB2 con distintos tamaños de bloque utilizando los datos de la estación de Santaella, Córdoba:

Ejemplos de un año sintetizado empleando distintos tamaños de bloque:



*Figura 5.2.6.: Índices de claridad de un año sintetizado empleando el MBB2 con distintos tamaños de bloque (el número de días que abarca el bloque se indica junto a la gráfica) sobre los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen generada usando contourf de Matlab.*

Como era de esperar la diferencia entre días consecutivos disminuye a medida que aumenta el tamaño del bloque y, gracias a que se mantiene constante el tamaño de la banda de selección para que la diferencia de horas de luz entre dos días consecutivos no exceda el límite planteado de una hora, los valores máximos puntuales se mantienen más o menos constantes:



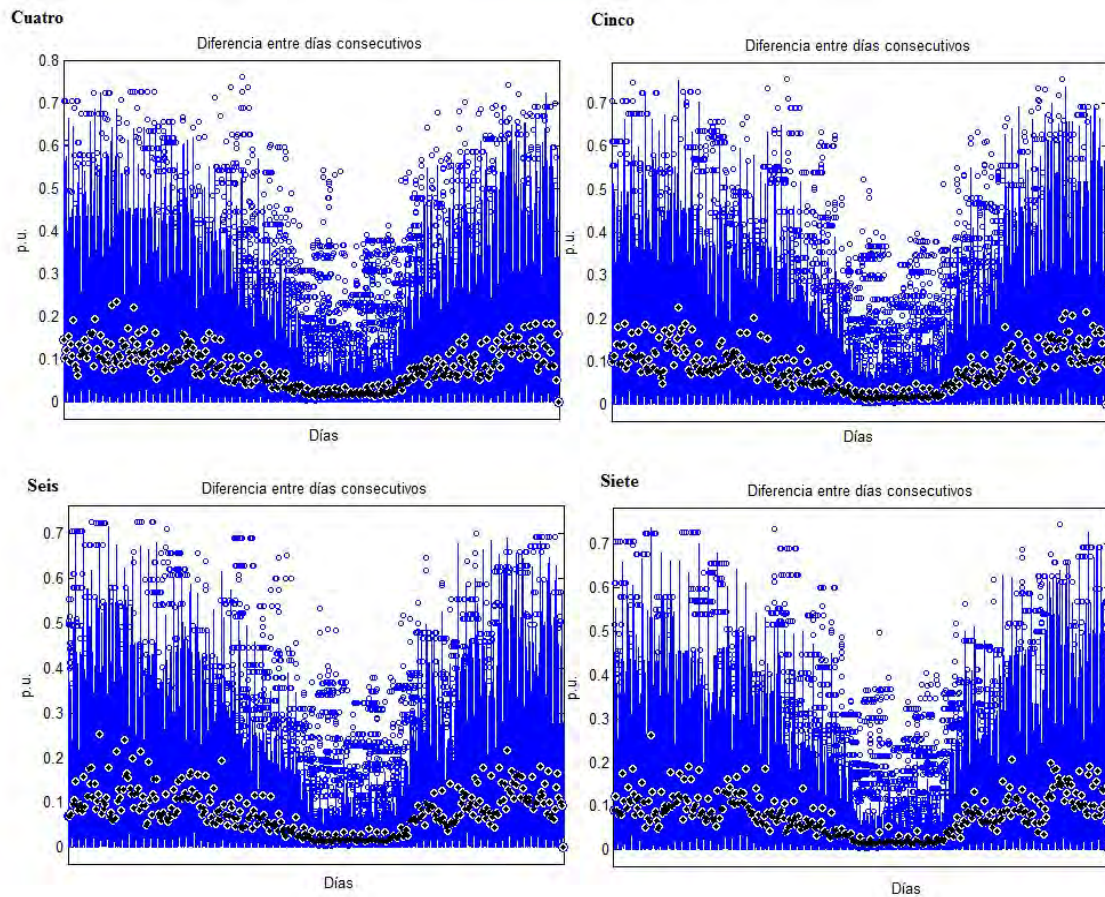


Figura 5.2.7.: Diagramas de cajas de la diferencia entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con distintos tamaños de bloque (el número de días que abarca el bloque se indica junto a la gráfica) con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

Conviene fijarse a continuación como al aumentar el tamaño de bloque la distribución de medias y desviaciones típicas conservan unos valores y forma muy similares:

Con un tamaño de bloque de cuatro días:

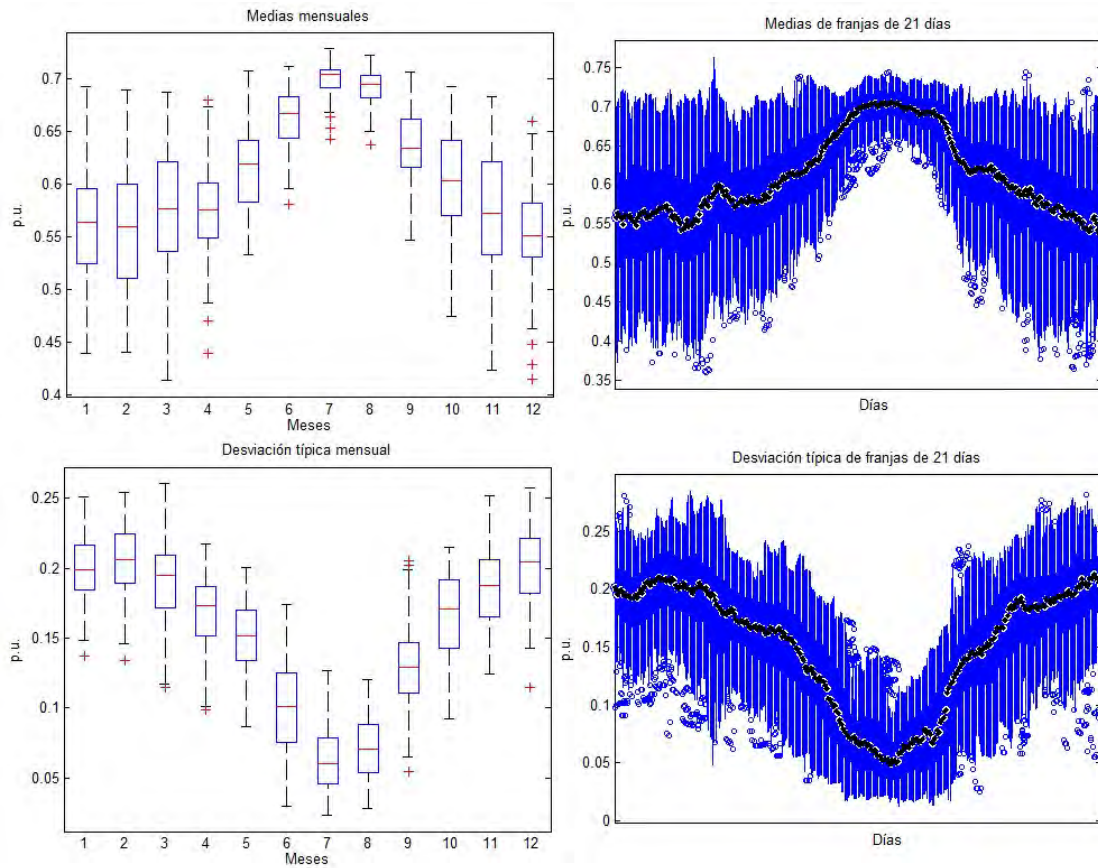


Figura 5.2.8.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con un tamaño de bloque de cuatro días con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Con un tamaño de bloque de cinco días:

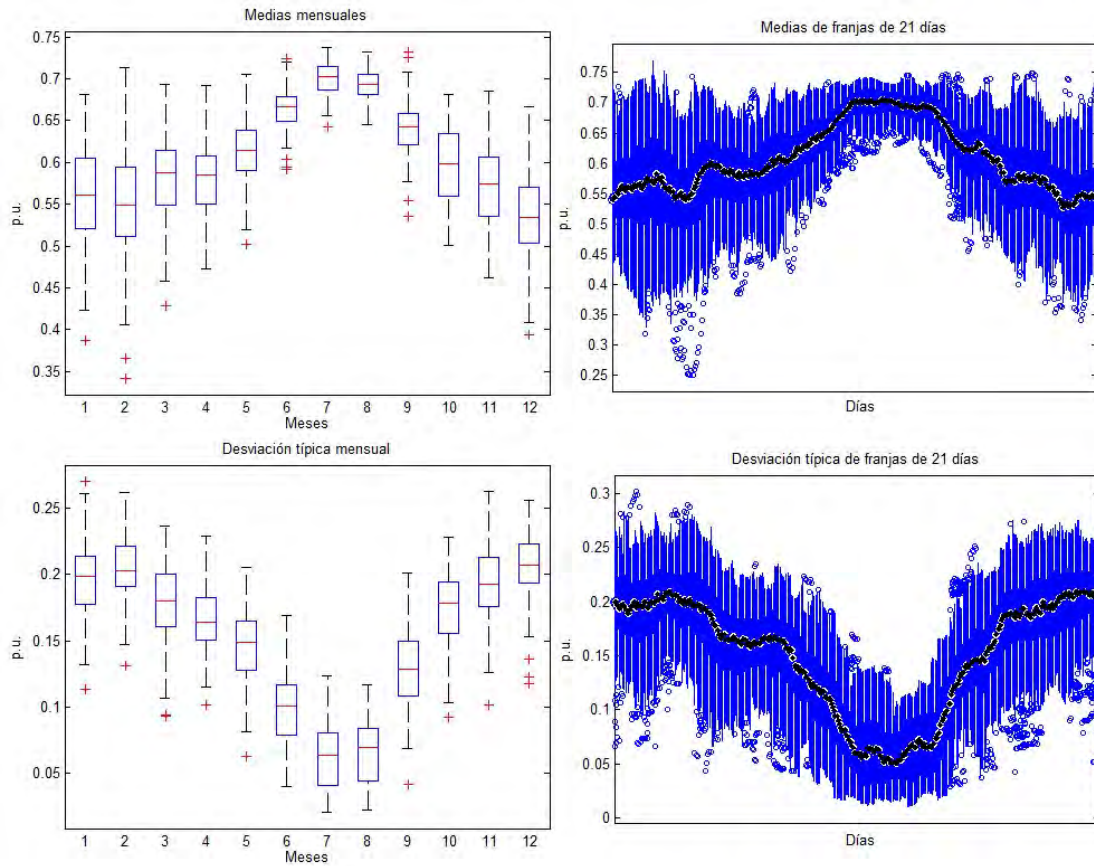


Figura 5.2.9.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con un tamaño de bloque de cinco días con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



Con un tamaño de bloque de seis días:

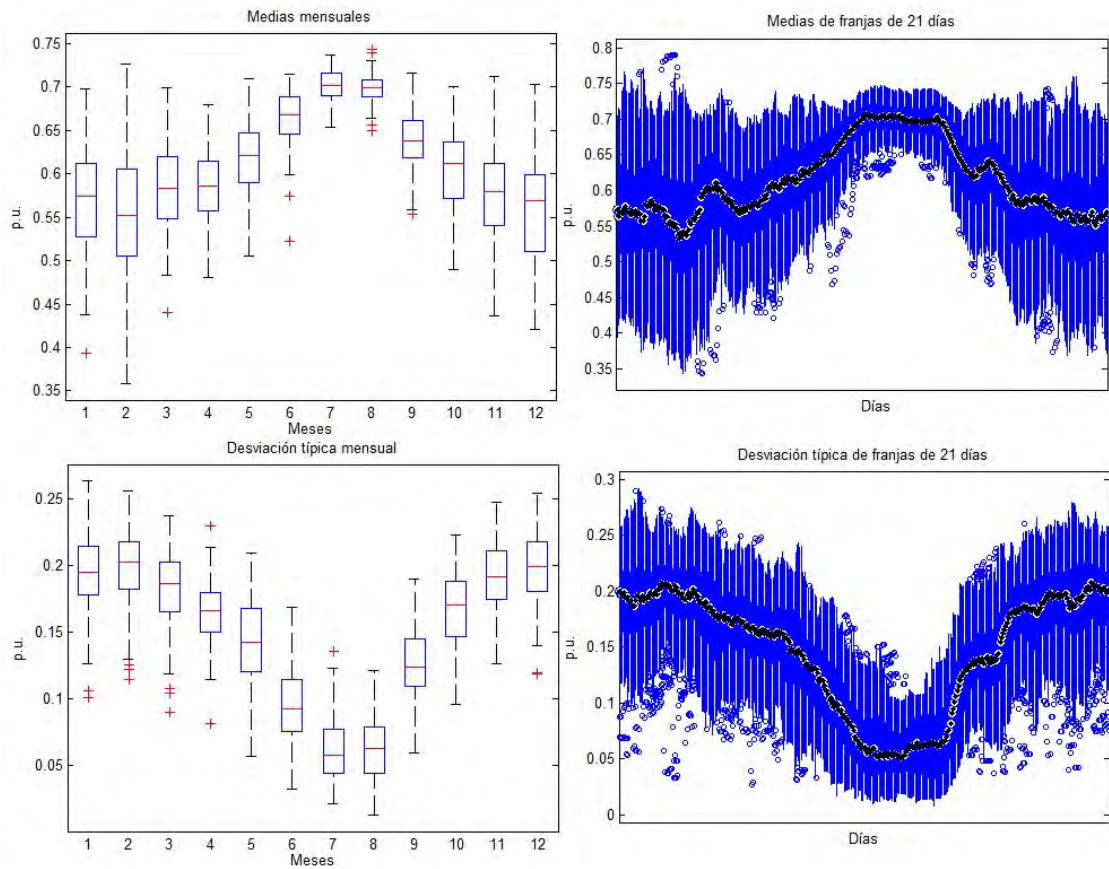


Figura 5.2.10.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con un tamaño de bloque de seis días con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



Con un tamaño de bloque de siete días:

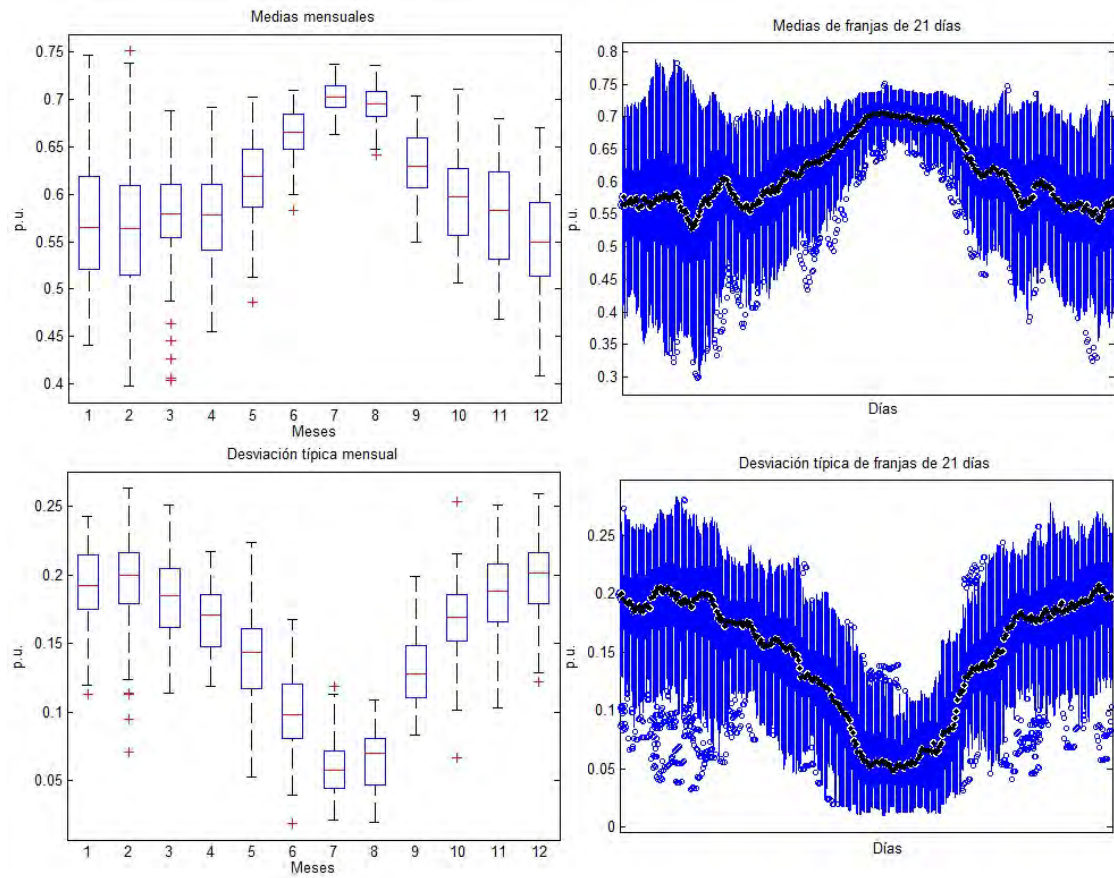


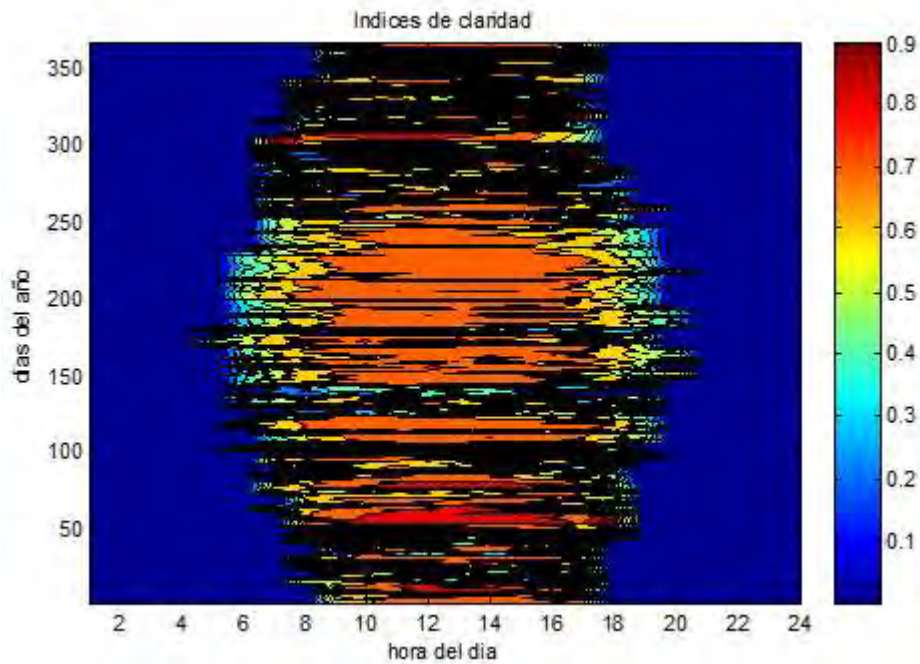
Figura 5.2.11.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con un tamaño de bloque de siete días con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

### 5.3. Aplicación del algoritmo MBB3

Antes de presentar los resultados del MBB3 indicar que como se demuestra en el apartado anterior con el ejemplo de Santaella, Córdoba, no es sencillo identificar el tamaño óptimo del bloque. Por ello se implementa el MBB3, Stationary Bootstrap, que es utilizado con casos en los que es difícil determinar el tamaño de bloque óptimo. Esta tercera versión tendrá una banda de selección móvil, que será igual que la de la segunda versión, pero en este caso el tamaño de bloque será variable (entre tres y siete días). Eso si los límites de la banda de selección se adecuaran a cada tamaño de bloque.

Se presentarán a continuación los resultados de las cien series anuales, simultaneas para las doce estaciones, generadas aplicando el MBB3:

Ejemplo de un año sintetizado:



*Figura 5.3.1.: Índices de claridad de un año sintetizado empleando el MBB3 sobre los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen generada usando contourf de Matlab.*

Análisis de las frecuencias fundamentales de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados con los datos de Santaella, Córdoba:

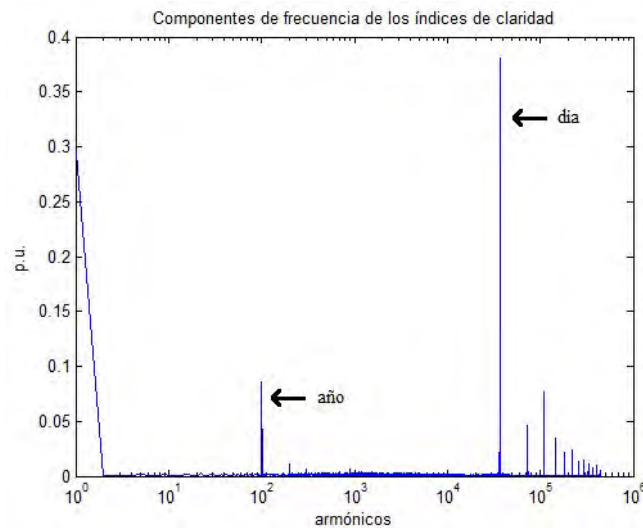


Figura 5.3.2.: Componentes de frecuencia de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un análisis FFT y generada usando Matlab.

Diferencia entre días consecutivos:

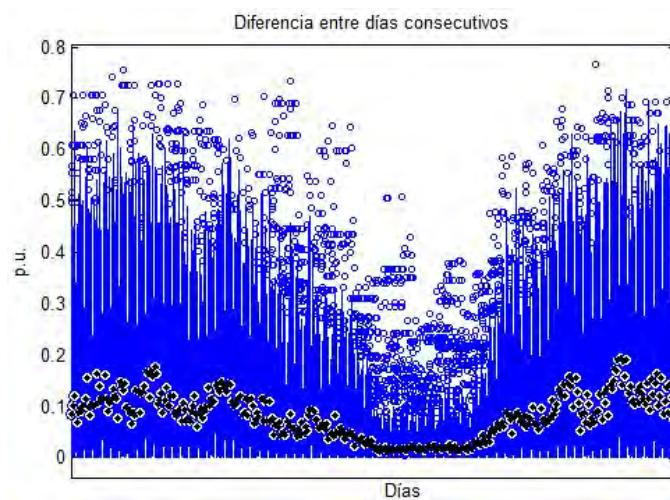


Figura 5.3.3.: Diagramas de cajas de la diferencia entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

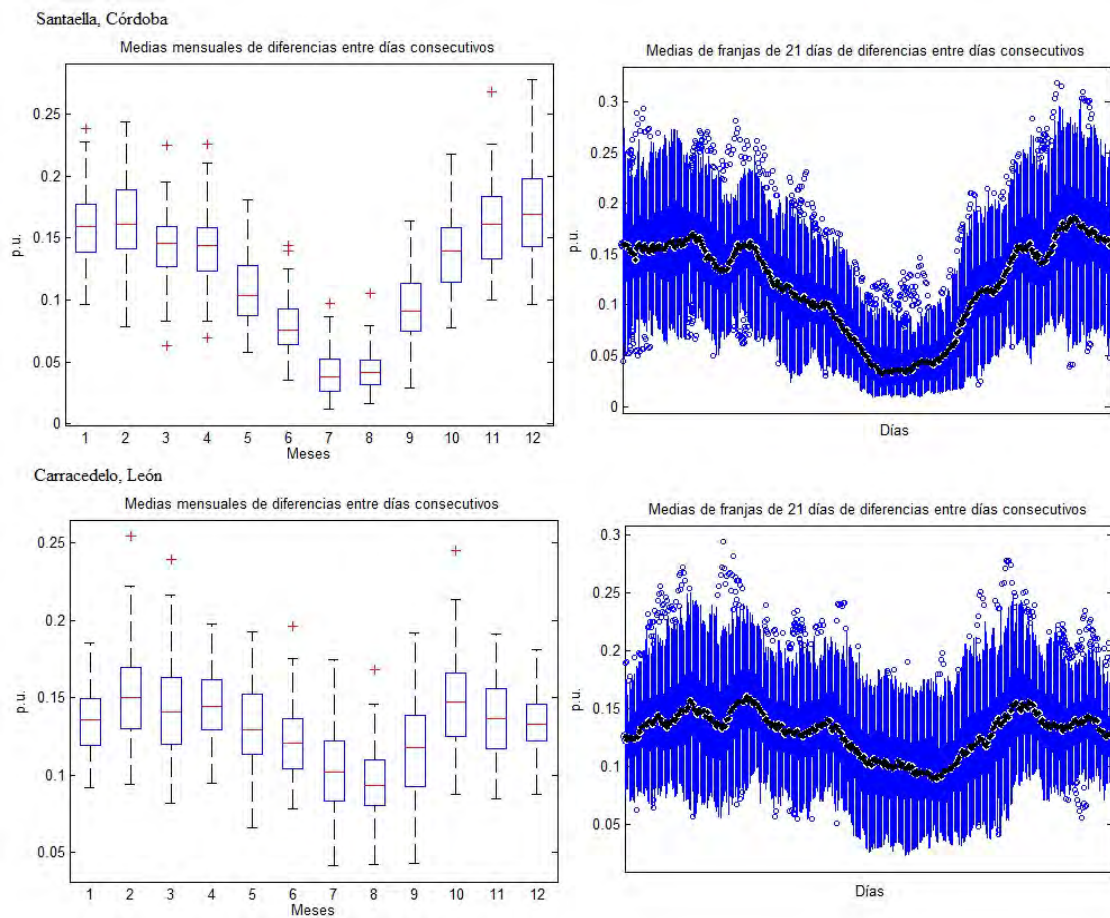


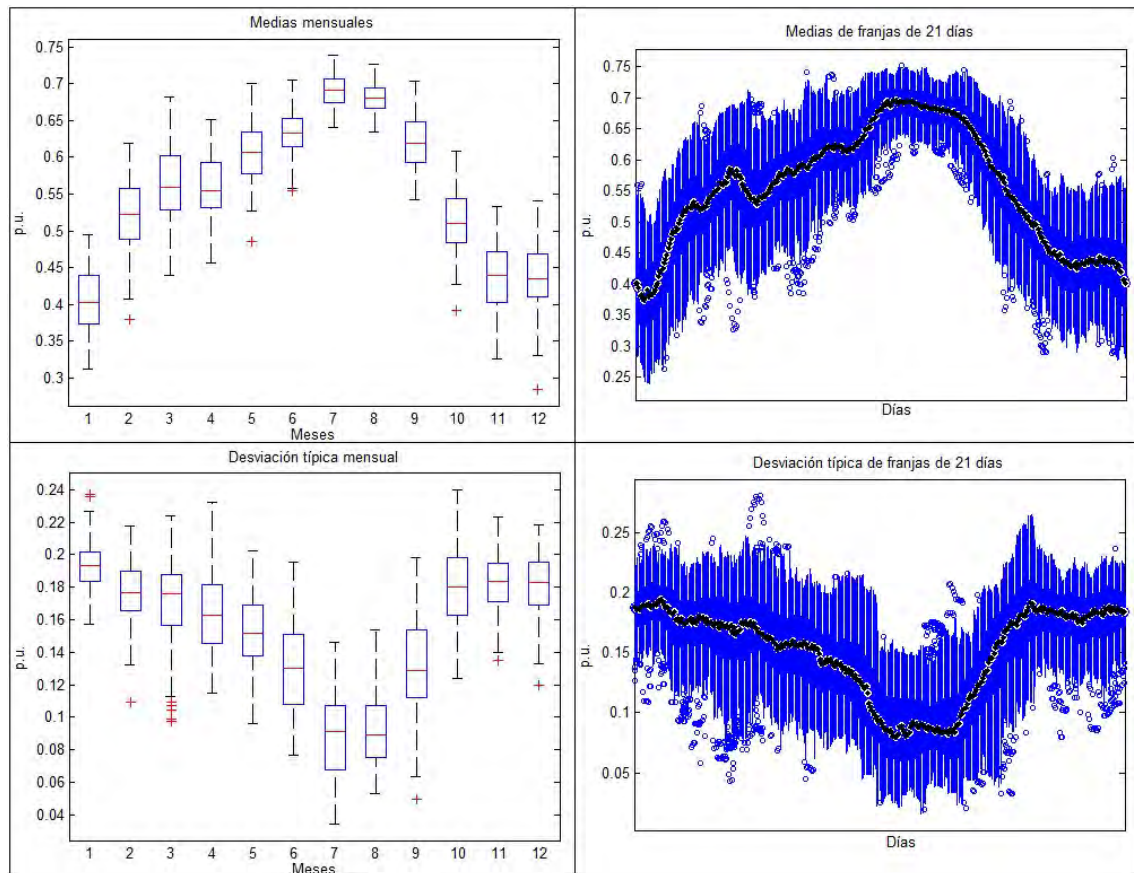
Figura 5.3.4.: Diagramas de cajas de las medias mensuales y medias de franjas de veintiún días de las diferencias entre días consecutivos en valor absoluto para cada día del año de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Santaella, Córdoba, y Carracedelo, Leon. Imagen obtenida a partir de un boxplot usando Matlab.

A continuación se presentarán, estación por estación, los diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3:



**León:**

**Bustillo del Páramo:**



*Figura 5.3.5.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Bustillo del Páramo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.*

Nota: Las gráficas de las demás estaciones y las de los datos diarios están en el anexo 6.3.

#### **5.4. Análisis de los resultados**

Al comparar, estación por estación, las gráficas, de los distintos estadísticos, obtenidas de analizar las series generadas de aplicar las distintas implementaciones del MBB se aprecia que, aunque los valores son muy similares, la forma de estos a lo largo del año no lo es tanto. Esto significa que las distintas formas de aplicar el método generan resultados marcadamente diferenciados; no tanto entre el MBB2 y MBB3, pero sí entre estos y el MBB1. El primer impulso para juzgar cuál de las implementaciones aporta mejores resultados es compararlos con los datos, e incluso rehacer la simulación excluyendo un diez por ciento de los datos para poder inferir sin miedo a que haya redundancia entre los datos y los resultados. Pero la dispersión de los datos es demasiado grande como para considerar comparar los datos directamente, e incluso considerar los estadísticos de los datos como piedra angular de referencia es arriesgado, ya que a pesar de ser grande la muestra a la vez no es tan grande. Al comparar los estadísticos de los datos con los de los resultados, con un simple análisis visual, se aprecia que los que más se aproximan son los del MBB2 y MBB3; aunque los datos presentan oscilaciones más amplias. Debido al algoritmo con el que funciona el MBB1 es posible que altere la estructura anual de los datos y por consiguiente no sea el más adecuado. El MBB1 absorbe las oscilaciones de mayor frecuencia de los índices de claridad, remarcando con ello la evolución anual. Ejemplo:

Bustillo del Páramo, León  
 Datos:

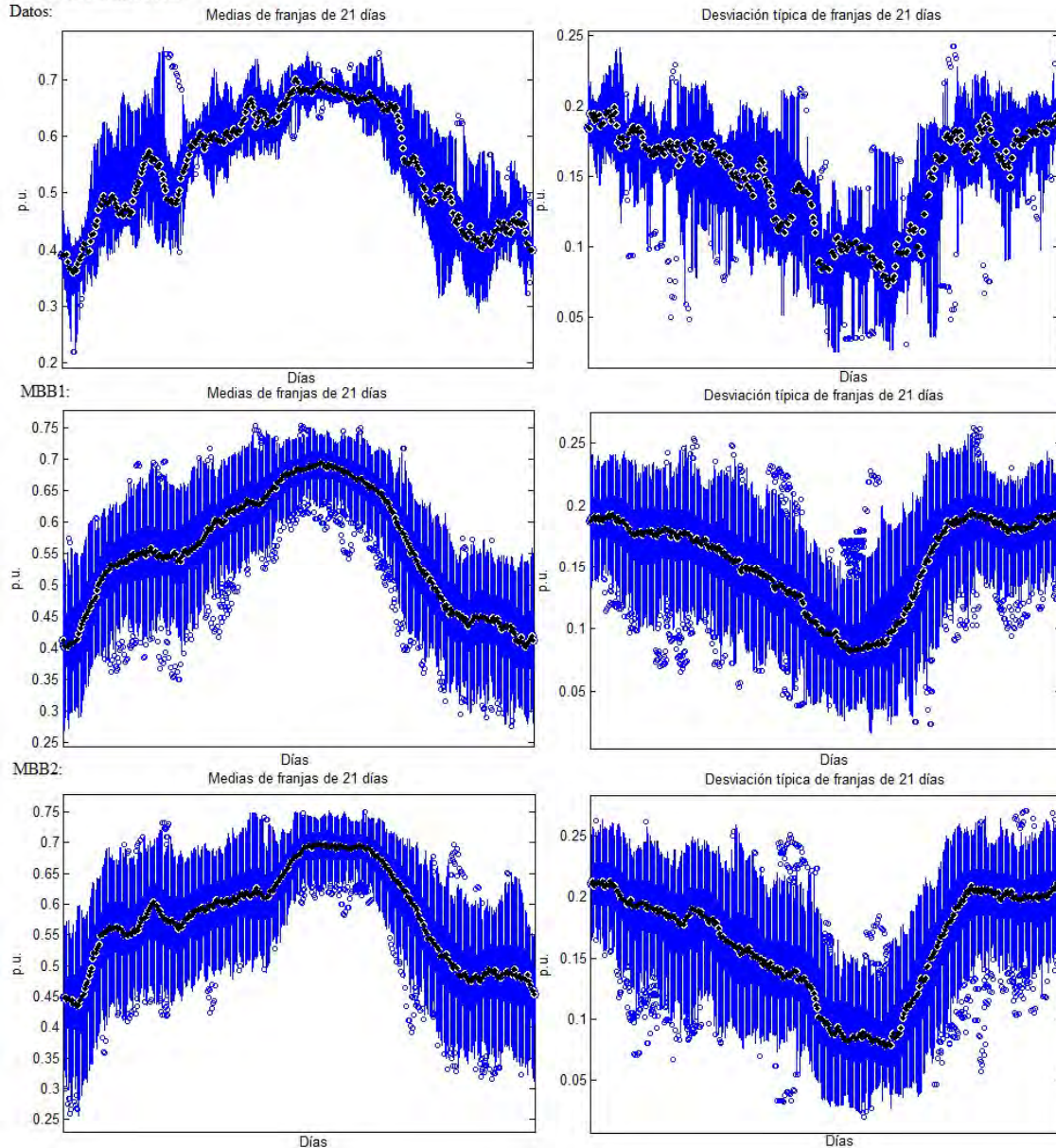


Figura 5.4.1.: Diagramas de cajas de las medias de franjas de veintiún días y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los datos horarios de Bustillo del Páramo, León, y de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 y MBB2 con los datos mencionados. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

En cuanto a la diferencia entre el MBB2 y el MBB3 es mucho más sutil, pero diría que el MBB3 se ajusta más a los estadísticos de los datos (figura 5.4.2.). Aunque las tres implementaciones son válidas para los objetivos del estudio la más adecuada parece la del MBB3.



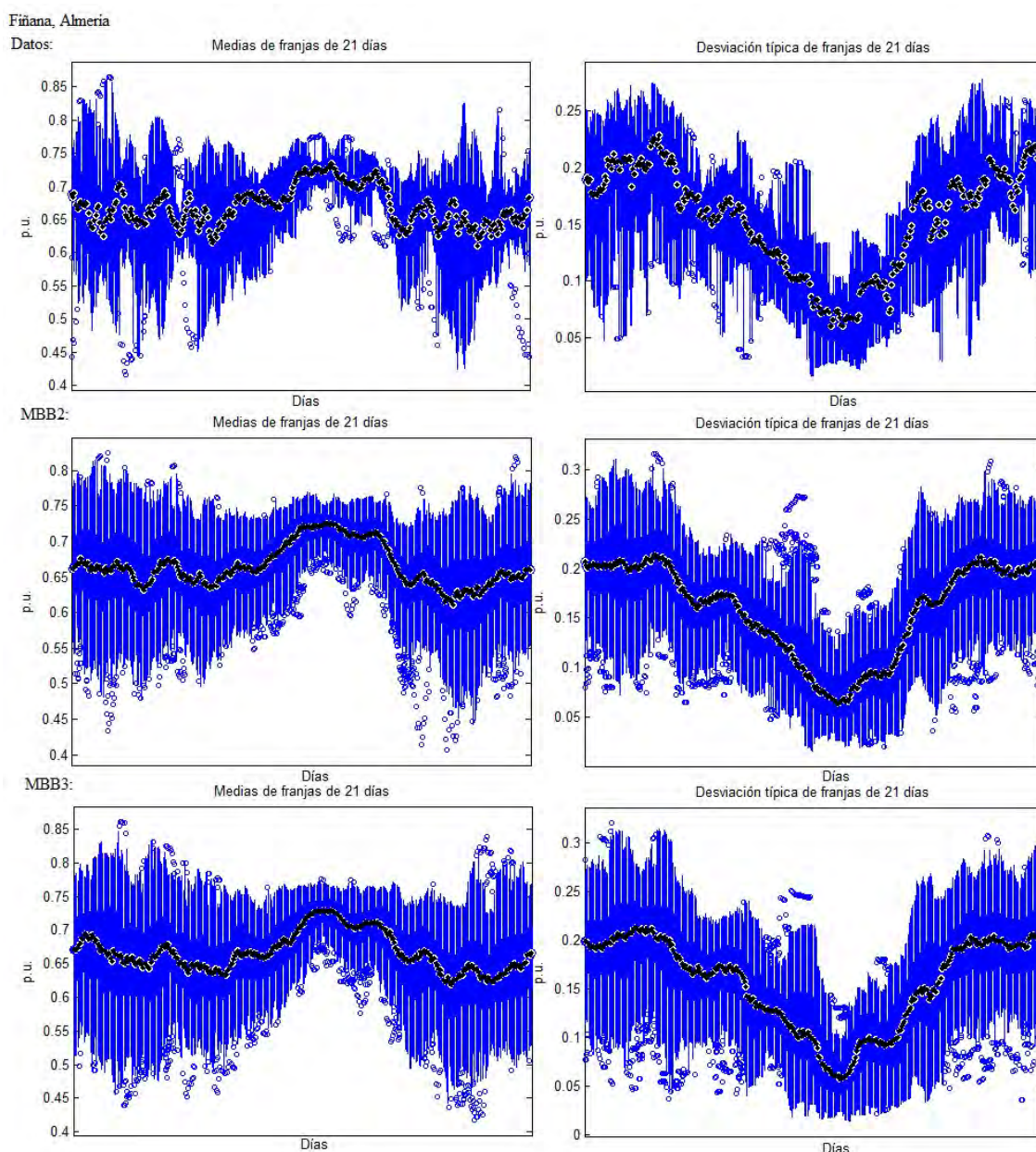


Figura 5.4.2.: Diagramas de cajas de las medias de franjas de veintiún días y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los datos horarios de Fiñana, Almería, y de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 y MBB3 con los datos mencionados. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Al analizar las series de índices de claridad anuales de los datos parecía que las series de una ubicación no podían servir para otra, ni siquiera, aunque esta estuviera considerablemente cerca. Pero, tras aplicar el MBB y analizar las series resultantes se aprecia que dentro de la misma provincia los estadísticos de centralización elegidos poseen unos valores y evolución anual muy similares (figura 5.4.3.); aunque puede que hiciera falta algún factor de corrección basado en la altitud y la latitud (por no mencionar que siempre habría que tener en cuenta la geografía colindante).



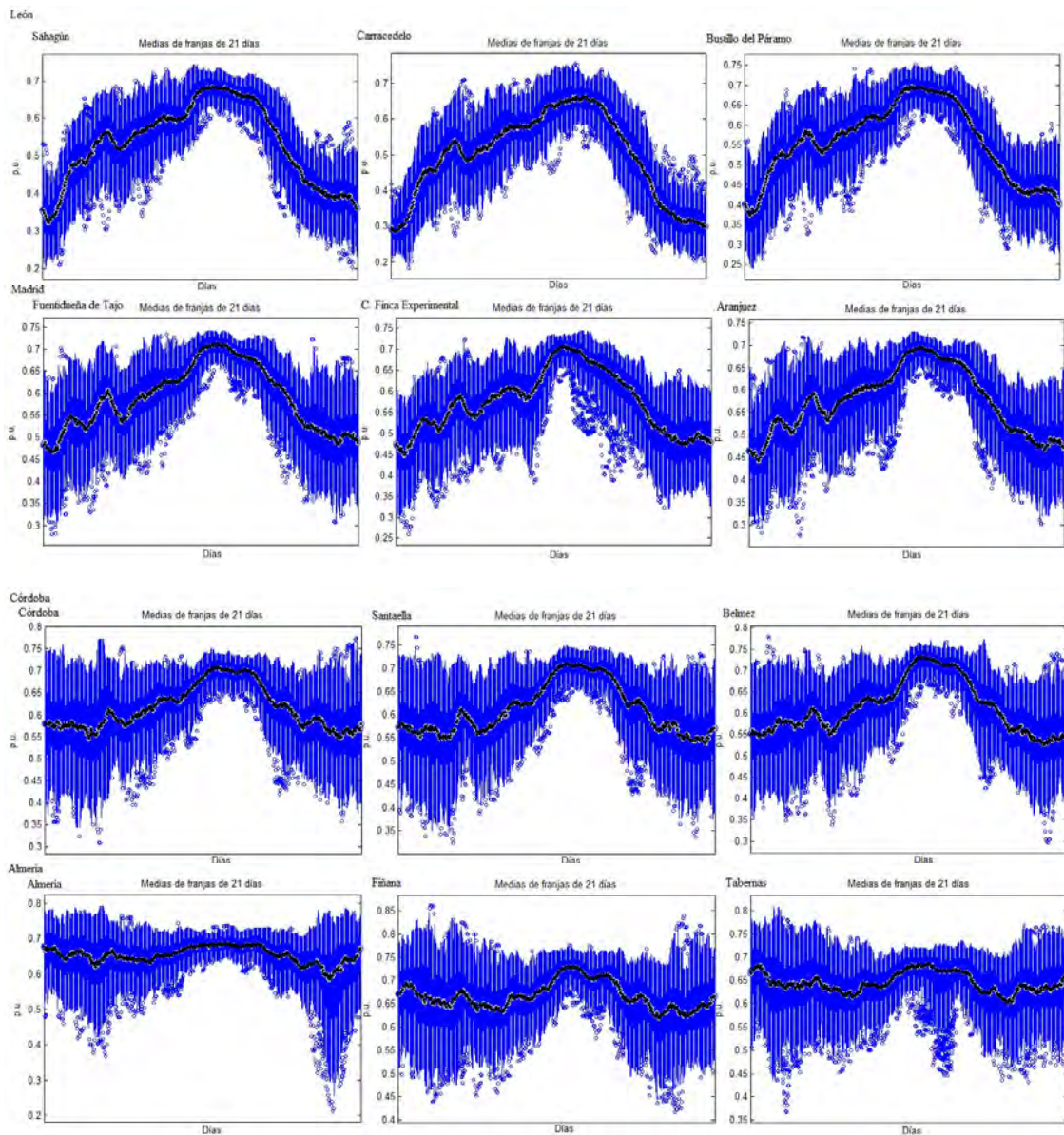


Figura 5.4.3.: Diagramas de cajas de las medias de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos de todas las estaciones. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

## 6. Conclusiones

### 6.1. Objetivos alcanzados

Se han logrado sintetizar series anuales de índices de claridad con diez años de datos de doce estaciones repartidas en tres provincias. Dichas series han sido creadas aplicando tres implementaciones diferentes del MBB, y se han sintetizado cogiendo los datos simultáneamente de todas las estaciones para preservar las relaciones climáticas entre los distintos puntos de la península. El MBB3 ha resultado ser la que aporta unos resultados más ajustados a los datos de partida.

En cuanto a las conclusiones sobre los índices de claridad en sí, la primera es que no se pueden usar las series de índices de claridad de una región en otra. Aunque tras el análisis de los resultados se vio que los valores de los índices de claridad, después de aplicar el MBB, obtenidos con los datos de una estación puedan aplicarse, en algunas ocasiones y de forma orientativa, a toda una región colindante. También se ha visto, gracias a los datos de las estaciones de Almería, que la influencia del mar hace mucho más constantes los índices de claridad a lo largo del año, aunque la dispersión de estos sigue siendo mayor en la segunda mitad del otoño y la primera del invierno, disminuyendo considerablemente en verano. Además, se puede apreciar al comparar los resultados de las cuatro provincias como los índices de claridad disminuyen según aumenta la latitud. Esta conclusión era predecible ya que cuanto mayor sea la latitud mayor será la cantidad de atmosfera que tengan que atravesar los rayos del sol y por tanto mayor será la cantidad de radiación solar absorbida por esta. Pero no lo es tanto el detalle de que con el aumento de la latitud también aumenta la diferencia entre los índices de claridad mínimos y máximos anuales (refiriéndose a los índices de claridad medios esperables en función del día del año). Finalmente indicar que la dispersión de los índices de claridad, aunque presenta diferentes evoluciones anuales (compartiendo todas una disminución en verano), tiene unos valores similares en todas las estaciones.

Aunque está contenido en el capítulo de datos también son relevantes los resultados sobre la parametrización de la temperatura en función de la radiación en las horas anteriores. Para una ubicación concreta y usando coeficientes mensuales, la estimación de la temperatura a partir de este método paramétrico es más que suficiente para calcular el nivel de eficiencia de las células PV. Aunque es verdad que en primavera y otoño sería más adecuado usar coeficientes de menos duración, como semanales. Conocer dicha estimación de la temperatura en todo momento permite considerar el parámetro de eficiencia, asociado a la temperatura, en la creación de series de potencia eléctrica entregada por la estación a modelar.

Se intentó mejorar el método para estimar la temperatura, aun a costa de meter más variables, con el objetivo de que los parámetros sirvieran por lo menos para toda una región, pero la radiación en la misma hora o incluso la latitud no eran variables

suficientemente significativas. De todas las variables con las que se probó la más significativa resultó ser la altitud y se elaboró un modelo paramétrico para las tres estaciones de Almería simultáneamente, pero el error de la estimación aumentaba considerablemente.

## 6.2. Futuras líneas de desarrollo

Empezar indicando que hubiera sido realmente útil crear series de potencia (basadas en plantas con una tecnología dada y calculadas usando el SAM) con los datos (multiplicando las series de índices de claridad obtenidas con el MBB por la radiación extraterrestre disponible para obtener los valores de radiación disponible en tierra) y compararlas con las series de potencia de plantas fotovoltaicas reales (homónimas a las modeladas con el SAM) situadas en la posición de los datos. Pero, aunque se cogieran plantas cercanas ya se ha visto analizando los datos las enormes diferencias que pueden surgir. Si se dispusiera de series de índices de claridad de los lugares donde se encuentran las principales plantas PV y de los valores de potencia entregada en el mismo periodo de los datos se podría, tras aplicar el MBB a ambos y convertir las series de índices de claridad en series de potencia siguiendo el procedimiento descrito al principio del párrafo, verificar si coinciden los resultados. De encajar ambos resultados se validaría el método y se demostraría su capacidad para, a partir de datos de radiación, simular tanto la generación de una planta fotovoltaica a modelar, como de simular múltiples escenarios de la potencia entregada por una mayor cantidad de plantas PV o incluso generación distribuida basada en techos solares. Con la última simulación descrita se podría analizar cómo afectaría al sistema eléctrico una mayor implantación de PV y cómo debería rediseñarse éste para absorberla adecuadamente dicha capacidad sin poner en riesgo la continuidad del suministro eléctrico.

También se podría crear, a partir de datos de índices de claridad diarios y usando los horarios o medio horarios como base, un modelo paramétrico para una ubicación concreta que sea capaz de predecir la forma de la cantidad de recurso en función del día del año, las condiciones climáticas de los días anteriores y la previsión de climatología. Para ello sería necesario correlacionar los datos de índices de claridad con la climatología del día en que fueron tomados.

Una forma con la que muy posiblemente se podría mejorar el método de estimación de la temperatura, para una ubicación concreta, sería, en lugar de hacer coeficientes mensuales, hacer unos coeficientes válidos para todo el año pero con un término más cuya variable fuera el día del año codificado en forma de función trigonométrica. Algo así como:

$$T = \beta_0 + \beta_1 \cdot G(t - 2) + \beta_2 \cdot G(t - 1) + \beta_3 \cdot \sin(\omega \cdot d + \varphi) \quad (6.2.1)$$

Siendo  $d$  el día del año (de 1 a 365),  $\omega$  la velocidad angular (que anualmente es de esperar que sea aproximadamente uno;  $360/366$ ) y  $\varphi$  el desplazamiento angular con el que ajustar la función a la evolución anual de la temperatura.

### 6.3. Notas

Uno de los primeros puntos es indicar que, en lugar de trabajar con varias series de datos puntuales simultáneos, lo ideal hubiera sido disponer de mapas de radiación de toda la península (imágenes donde cada punto codificase la cantidad de radiación sobre plano horizontal incidente). Trabajar con imágenes plantea una serie de retos, pero en esencia la aplicación del método sería igual.

Un comentario respecto a los índices de claridad horarios es que no han sido adecuados para analizar la distribución diaria del recurso solar a lo largo del año. Para estudiar mejor dicha distribución harían falta datos de franjas temporales de entre seis y como mucho quince minutos. Y a parte de la cantidad de valores diarios también será vital la calidad de dichos datos (primero que sean de energía y no potencia y segundo que hayan sido tomados con un aparato de mediada que tenga una sensibilidad y fiabilidad adecuadas).

También indicar que hubiera sido muy conveniente tener la documentación y trazabilidad de los sensores con los que se han tomado los datos para conocer el porcentaje de error con el que estamos trabajando.

Finalmente mencionar que para los estudios de fiabilidad y dimensionado sobre una ubicación específica recomiendo: <http://www.sisifo.info/>

Esta aplicación online permite predecir la producción energética de sistemas fotovoltaicos. Para la simulación seleccionas: datos (tipo de dato, modelo de cielo e incluso ajustar algunos parámetros mensuales), naturaleza de placa PV, tipo de placa PV, características del sistema de transformación y algunas opciones más para la simulación. Para llevar a cabo la simulación utiliza un modelo que permite predecir la producción de energía de un sistema fotovoltaico partiendo de una mínima información meteorológica.

## **7. Agradecimientos**

A Julio Usaola Garcia, catedrático del departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Carlos III de Madrid, y a M. Lourdes Ramirez Santigosa, investigadora en el Ciemat, por su ayuda y consejos en la realización del proyecto. Y a mis padres por su paciencia.

## 8. Referencias bibliográficas

- [1] Julio Usaola, 2014, Synthesis of hourly wind power series using the Moving Block Bootstrap method, *Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS)*, IEEE: 978-1-4799-3561-1, <http://ieeexplore.ieee.org/>
- [2] Nelson Vera, 2005, Atlas climático de irradiación solar a partir de imágenes del satélite NOAA. Aplicación a la península ibérica, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, <http://hdl.handle.net/10803/6839>
- [3] Rubén Ostiz, 2012, Aplicación robótica de orientación solar, Proyecto de Diplomatura, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España
- [4] Soteris A. Kalogirou, 2009, Solar Energy Engineering. Processes and Systems, Academic Press, ISBN: 978-0-12-374501-9, <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780123745019>
- [5] Muhammad Iqbal, 1983, An Introduction to Solar Radiation, Academic Press, ISBN: 978-0-12-373750-2, <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780123737502>
- [6] Robert Ehrlich, 2013, Renewable Energy. A first course, CRC Press, ISBN: 978-1-4665-9944-4
- [7] John A. Duffie, William A. Beckman, 1980, Solar Engineering of Thermal Processes, ISBN: 978-0-470-87366-3, <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0470873663.html>
- [8] J. W. Spencer, 1971, Fourier series representation of the position of the sun, *Search*, Vol. 2 No. 5, 172, Estados Unidos, <http://www.mail-archive.com/sundial@uni-koeln.de/msg01050.html>
- [9] Gonzalo Abal, Valeria Dura~nona, 2013, Manual Técnico de Energía Solar Térmica, ISBN: 178-9974-0-0910-3
- [10] P. I. Cooper, 1969, The Absorption of solar radiation in solar stills, *Sol. Energy*, Vol. 12 No. 3, pp 333-346
- [11] Perrin de Brichambaut, 1975, C. Estimation des ressources energetiques solaires en France, *Cahiers A.F.E.D.E.S.* Supplement au No. 1
- [12] Edson Plasencia S., Lidio Matos C., Adolfo Posadas, Carlos Cabrera, 2007, Estimación horaria de la irradiancia solar total extraterrestre, *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, Vol. 10 No. 19 pp 72-77
- [13] UNEF Unión Española Fotovoltaica, Informe anual 2015
- [14] EurObserv'ER, 2015, Photovoltaic Barometer
- [15] Muhammad Iqbal, 1980, Prediction of hourly diffuse solar radiation from measured hourly radiation on a horizontal surface, *Solar Energy* No. 23, pp 491-503

[16] Tokhir Gafurov, Julio Usaola, Milan Prodanovic, 2013, PV system model reduction for reliability assessment studies, *IEEE PES ISGT Europe 2013*, ISSN: 2165-4816

[17] Bent Sorensen, 2011, Renewable Energy. Physics, Engineering, Environmental Impacts, Economics & Planning, ISBN: 978-0-12-375025-9

[18] M. Iqbal, 1979, A study of Canadian diffuse and total solar radiation data, I. Monthly average daily horizontal radiation, *Sol. Energy* 22 (1), 81-86

[19] David Santos-Martin, Scott Lemon, 2015, SoL – A PV generation model for grid integration analysis in distribution networks, *ScienceDirect*, *Sol. Energy* 120 (2015) 549-564

[20] Ursula Eicker, 2001, Solar Technologies for Buildings, ISBN: 0-471-48637-X

[21] Pedro Rodriguez, Energías Renovables, Apuntes UC3M

[22] NASA Atmospheric Science Data Center, Surface meteorology and Solar Energy (<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>), [http://eosweb.larc.nasa.gov/HPDOCS/proj\\_sup.html](http://eosweb.larc.nasa.gov/HPDOCS/proj_sup.html) & <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/daily.cgi?email=skip@larc.nasa.gov> & <http://gcmd.nasa.gov/>

[23] <http://satellite.entpe.fr/core.htm>

[24] <http://eportal.magrama.gob.es/websiar/SeleccionParametrosMap.aspx?dst=1>

[25] <http://helios.ies-def.upm.es/ayuda.aspx#relacion>

[26] <http://www.soweda.com/>

[27] <http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/radiacion/radiacion> (también es útil dentro de la página: <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=3200&k=mad>)

[28] <http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=hourly&layers=1&node=gis>

[29] Daniel Peña, 2001, Fundamentos de estadística, Alianza Editorial, ISBN: 978-84-206-8380-5

[30] Dimitris N. Politis, 2015, Model-Free Prediction and Regression: A Transformation-Based Approach to Inference, Springer, ISBN: 978-3-319-21346-0

[31] A. C. Davison and D. V. Hinkley, 1997, Bootstrap Methods and Their Applications, *Cambridge University Press*, Cambridge, UK

[32] M. R. Chernick, 2007, Bootstrap Methods: A Guide for Researchers and Practitioners, Wiley, New York

[33] M. R. Chernick, 1999, Bootstrap Methods: A Practitioner's Guide, Wiley, New York



- [34] McMurray T, Politis DN, 2008, Bootstrap confidence intervals in nonparametric regression with built-in bias correction, *Stat Probab Lett* 78:2463-2469
- [35] F. Oriani, J. Straubhaar, 2014, Simulation of rainfall time series from different climatic regions using the direct sampling technique, *Copernicus Publications*, University of Neuchatel, Suecia
- [36] Faustino Chenlo Romero, 2002, Cálculo de la Temperatura de Operación de Células Solares en un Panel Fotovoltaico Plano, CIEMAT, Madrid, ISSN: 1135-9420
- [37] Li, H. and G.S. Maddala, 1996, Bootstrapping Time Series Models, *Econometric Reviews*, 15, 115-158
- [38] Li, H. and G.S. Maddala, 1997, Bootstrapping Cointegrating Regressions, *Journal of Econometrics*, 80, 297-318
- [39] Hall, P., J.L. Horowitz y B.Y. Jing, 1995, On Blocking Rules for the Bootstrap with Dependent Data, *Biometrika*, 82, 561-574
- [40] Bühlmann, P., y H.R. Künsch, 1996, Block Length Selection in the Bootstrap for Time Series, *Seminar für Statistik*, ETH Zürich
- [41] <http://www.adrase.com/>
- [42] <http://www.gaisma.com>
- [43] <http://photovoltaic-software.com/> (<http://photovoltaic-software.com/solar-radiation-database.php>)
- [44] <http://www.soda-is.com/radiation/index.html> ([http://www.soda-is.com/eng/services/service\\_invoke/gui.php?xml\\_descript=hc3v4\\_invoke\\_hour\\_demo.xml#parameters](http://www.soda-is.com/eng/services/service_invoke/gui.php?xml_descript=hc3v4_invoke_hour_demo.xml#parameters))
- [45] <http://wrdc-mgo.nrel.gov/>
- [46] [https://maps.nrel.gov/re-atlas/#/?activeLayers=gin2bV%2Czpcfmf%2CmFfM\\_E&baseLayer=groad&mapCenter=40.21244%2C-91.625976&zoomLevel=4](https://maps.nrel.gov/re-atlas/#/?activeLayers=gin2bV%2Czpcfmf%2CmFfM_E&baseLayer=groad&mapCenter=40.21244%2C-91.625976&zoomLevel=4) (<https://maps.nrel.gov/>)
- [47] <http://www.bom.gov.au/jsp/awap/solar/index.jsp>
- [48] [https://wdc.dlr.de/data\\_products/SERVICES/SOLARENERGY/description.php](https://wdc.dlr.de/data_products/SERVICES/SOLARENERGY/description.php) ([http://www.dlr.de/tt/en/desktopdefault.aspx/tabid-2885/4422\\_read-6581/](http://www.dlr.de/tt/en/desktopdefault.aspx/tabid-2885/4422_read-6581/))
- [49] <http://www.opensolardb.org/db/extractcypaste>
- [50] <http://www.meteonorm.com/>
- [51] <http://solargis.com/>
- [52] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (<http://photovoltaic-software.com/pvgis.php>)
- [53] [https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewProduktSearch.jsessionid=2045A8792599074DA2E263E106C2AAB3.ku\\_2](https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewProduktSearch.jsessionid=2045A8792599074DA2E263E106C2AAB3.ku_2)
- [54] <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Radiacion/radiacion2.php>
- [55] <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- [56] [http://www.gersol.unlu.edu.ar/Atlas\\_Solar/mapas-rad-solar.html](http://www.gersol.unlu.edu.ar/Atlas_Solar/mapas-rad-solar.html)
- [57] <http://ernc.dgf.uchile.cl/Explorador/E3S/>

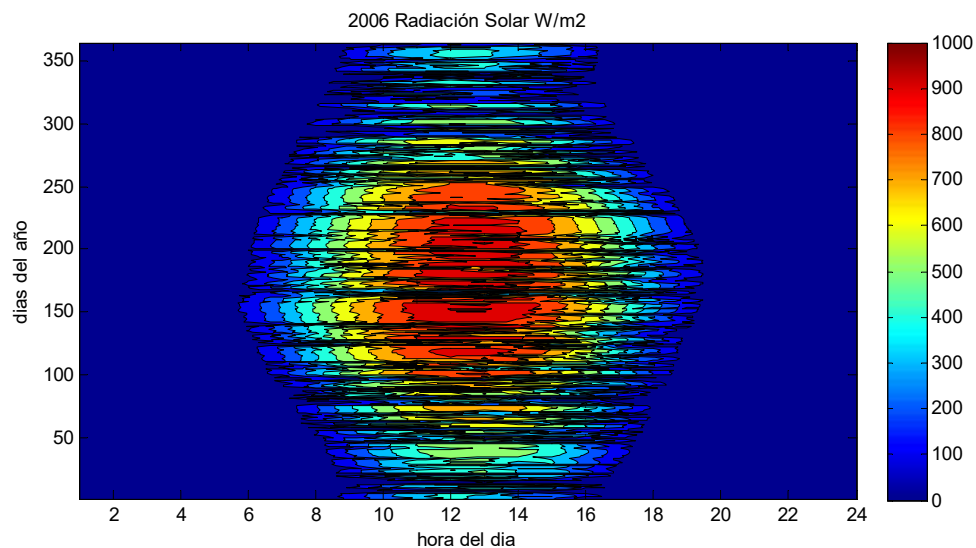


- [58] <http://www.vaisala.com/en/energy/support/Resources/Pages/Free-Wind-And-Solar-Resource-Maps.aspx>
- [59] <http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7417>
- [60] <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/11/09/influencia-de-la-irradiacion-y-temperatura-sobre-una-placa-fotovoltaica/>
- [61] Ehsan Fadhil Abbas Al-Showany, 2016, The Impact of the Environmental Condition on the Performance of the Photovoltaic Cell, *American Journal of Energy Engineering*. Vol. 4, No. 1, pp. 1-7. doi: 10.11648/j.ajee.20160401.11
- [62] Jeremy Berkowitz y Lutz Kilian, Recent Developments in Bootstrapping Time Series, *Federal Reserve Board*, University of Michigan
- [63] Dimitris N. Politis y Joseph P. Romano, 1994 , The Stationary Bootstrap, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 89, No. 428
- [64] [http://www.europe-solar.de/catalog/index.php?main\\_page=page\\_3%20http://www.pv-magazine.com/investors/module-price-index/#axzz4LSLy8amT](http://www.europe-solar.de/catalog/index.php?main_page=page_3%20http://www.pv-magazine.com/investors/module-price-index/#axzz4LSLy8amT)
- [65] <https://m.xataka.com/energia/los-11-graficos-que-demuestran-que-lo-de-la-energia-solar-es-imparable>
- [66] <http://electricitymap.tmrow.co/>
- [67] <http://www.upm.es/UPM/SalaPrensa/Noticias?fmt=detail&prefmt=articulo&id=100ee92843f28510VgnVCM10000009c7648a>

## 9. Apéndices

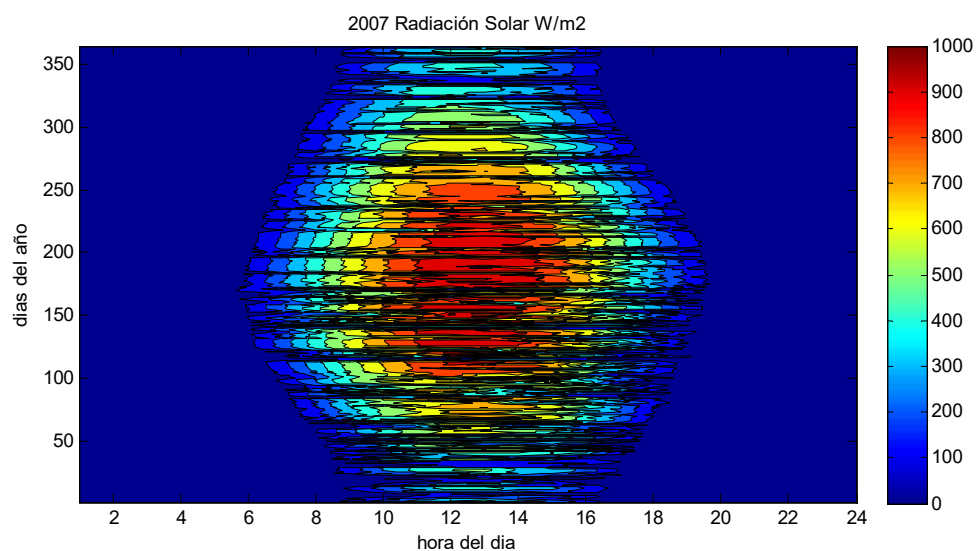
### 9.1. Anexo 1

León, Bustillo del Páramo

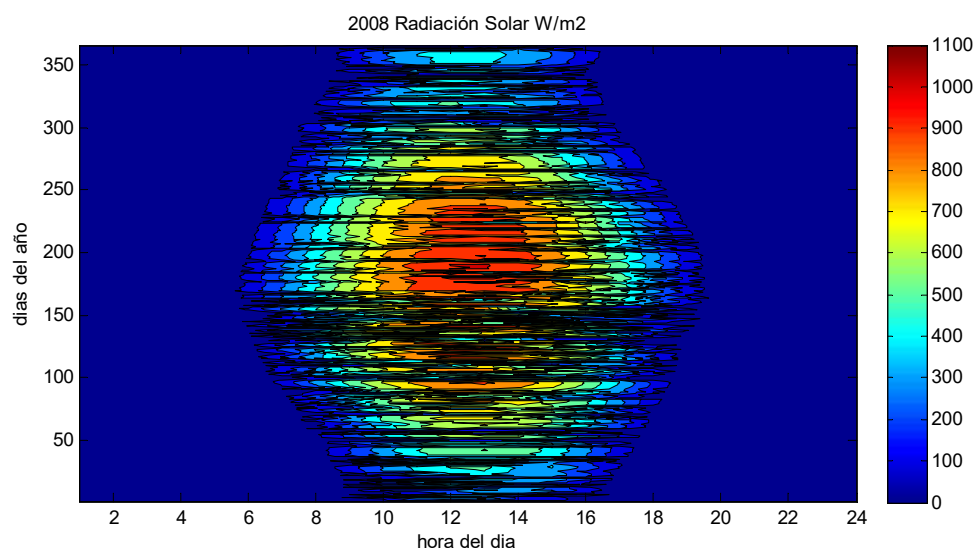


*Figura 9.1.2.: Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2006. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf*

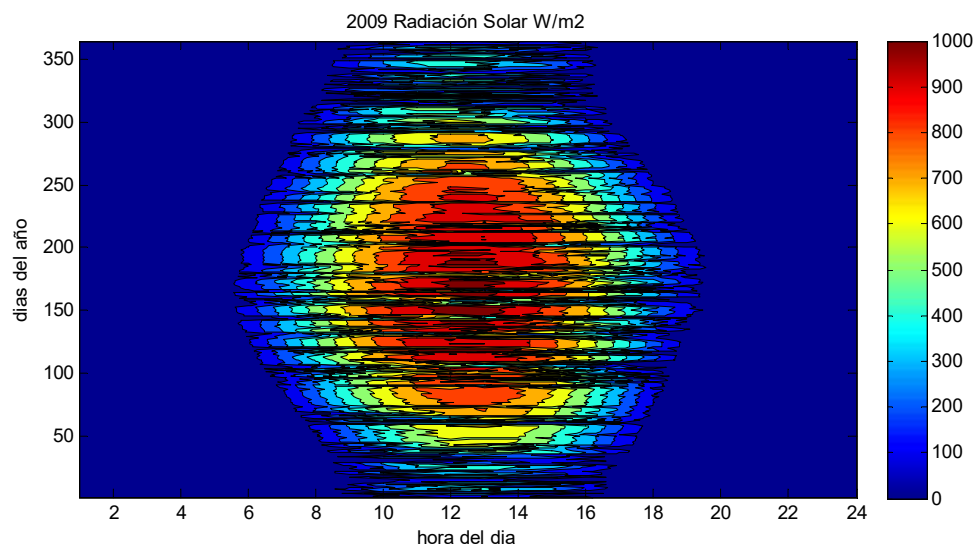
Nota: las franjas negras se producen por los bruscos cambios en los niveles de radiación a una misma hora entre dos días consecutivos.



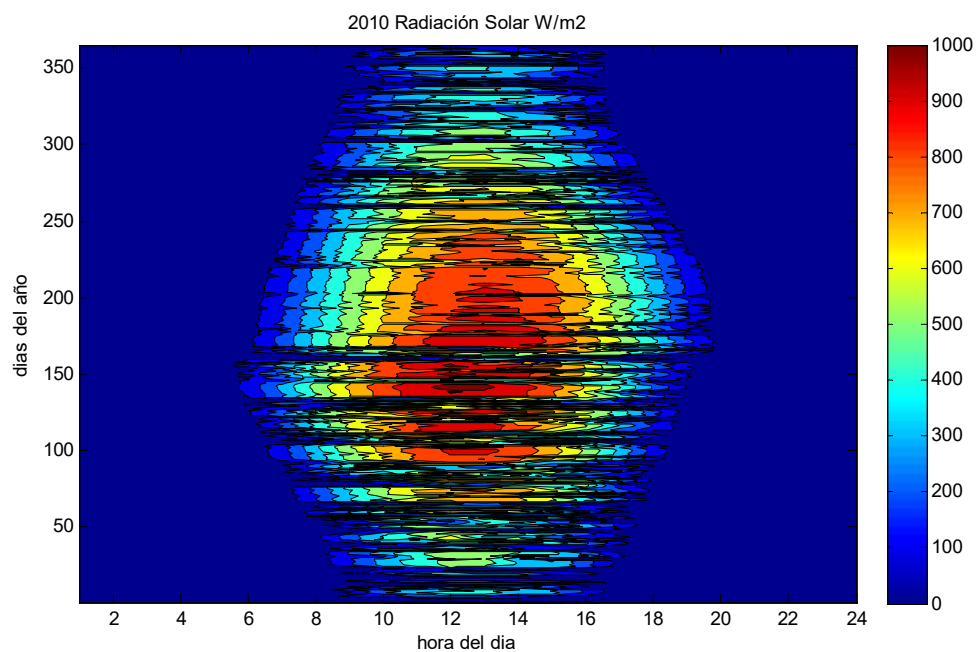
*Figura 9.1.3.: Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2007. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf*



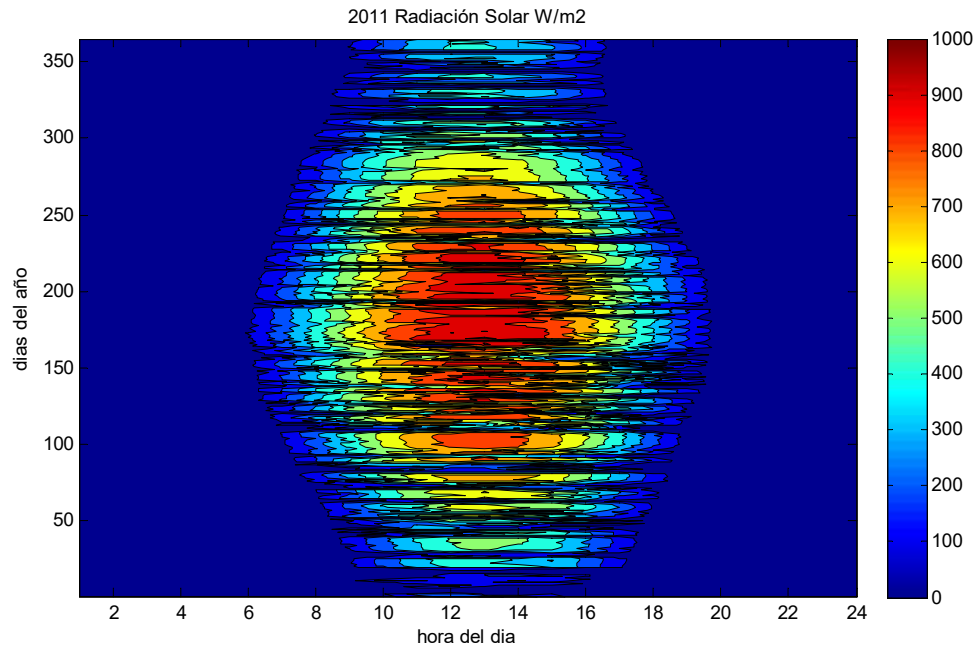
*Figura 9.1.4.: Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2008. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf*



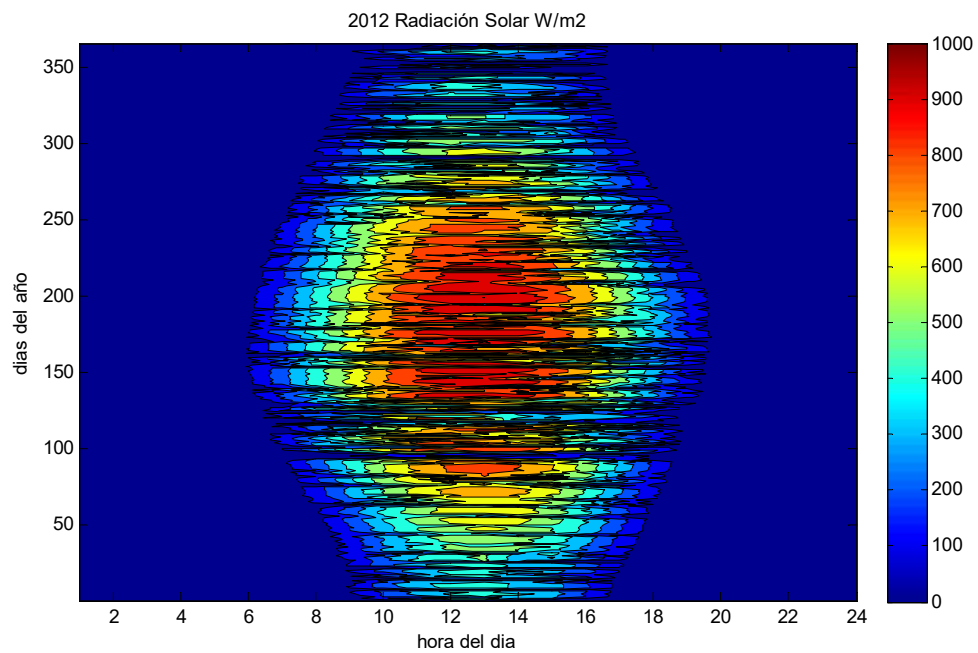
*Figura 9.1.5.: Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2009. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf*



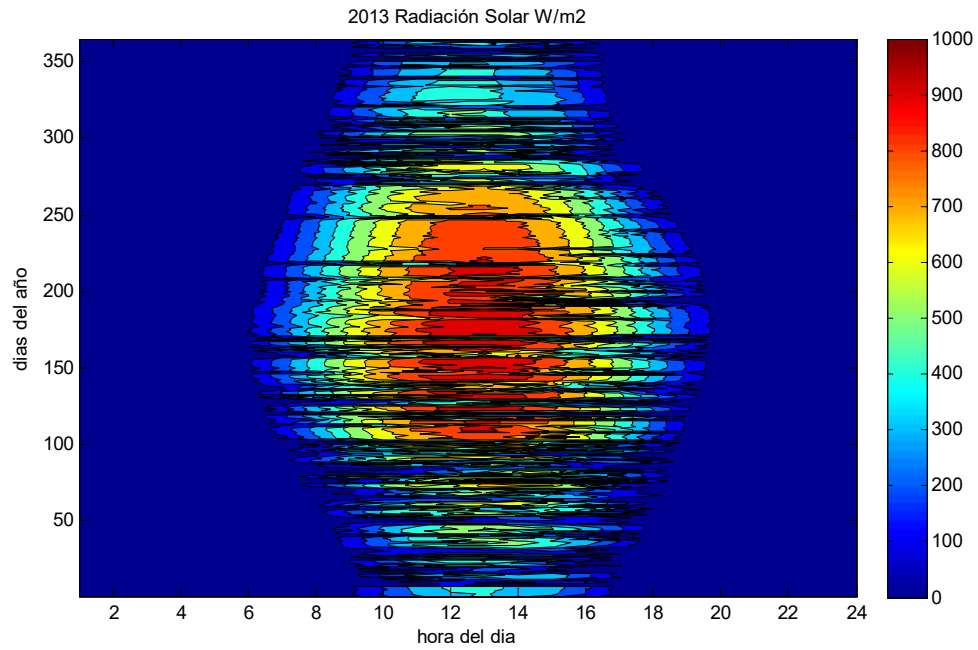
*Figura 9.1.6.: Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2010. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf*



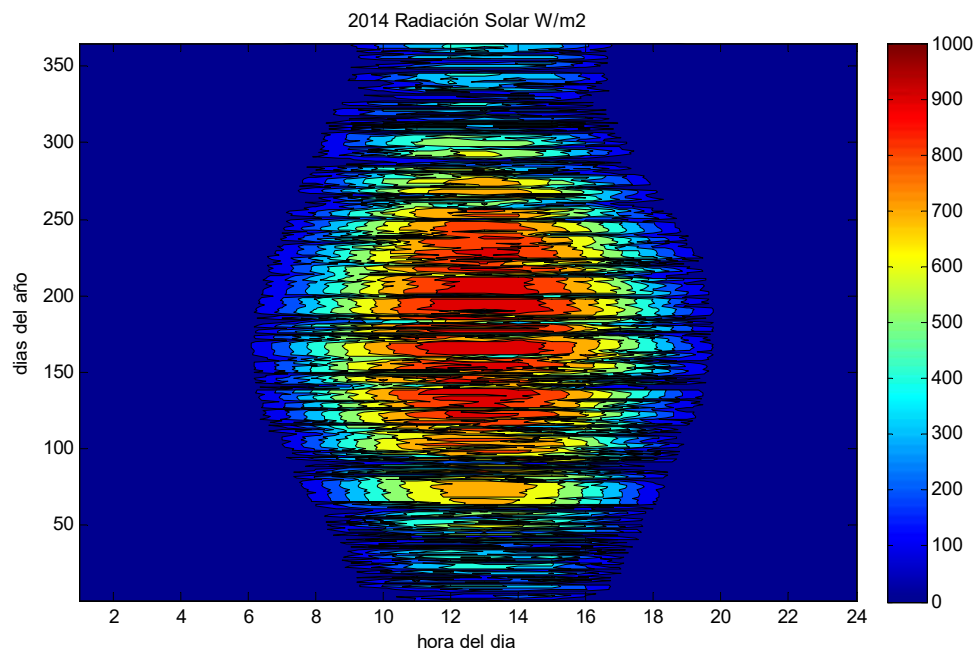
*Figura 9.1.7.: Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2011. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf*



*Figura 9.1.8.: Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2012. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf*



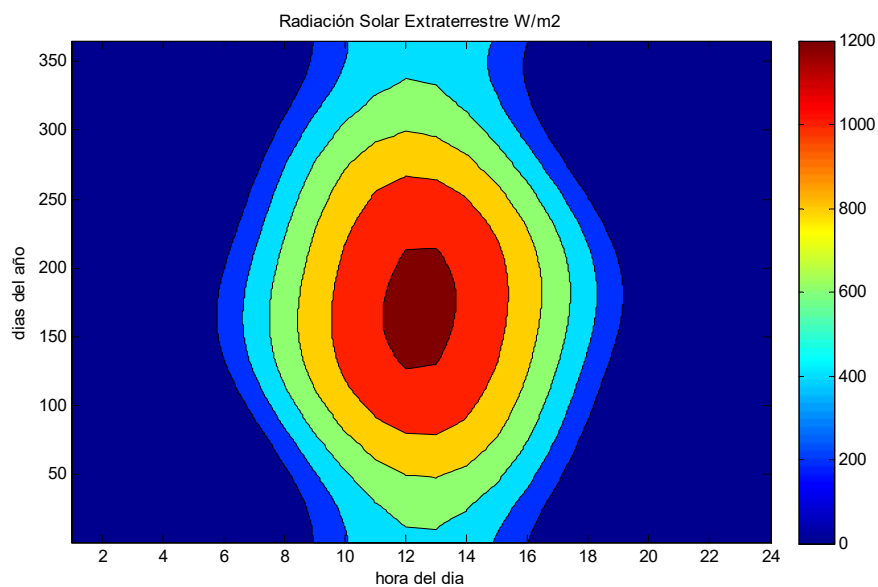
*Figura 9.1.9.: Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2013. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf*



*Figura 9.1.10.: Radiación solar horaria medida en Bustillo del Páramo, León, 2014. Imagen generada usando la herramienta de Matlab contourf*

## 9.2. Anexo 2

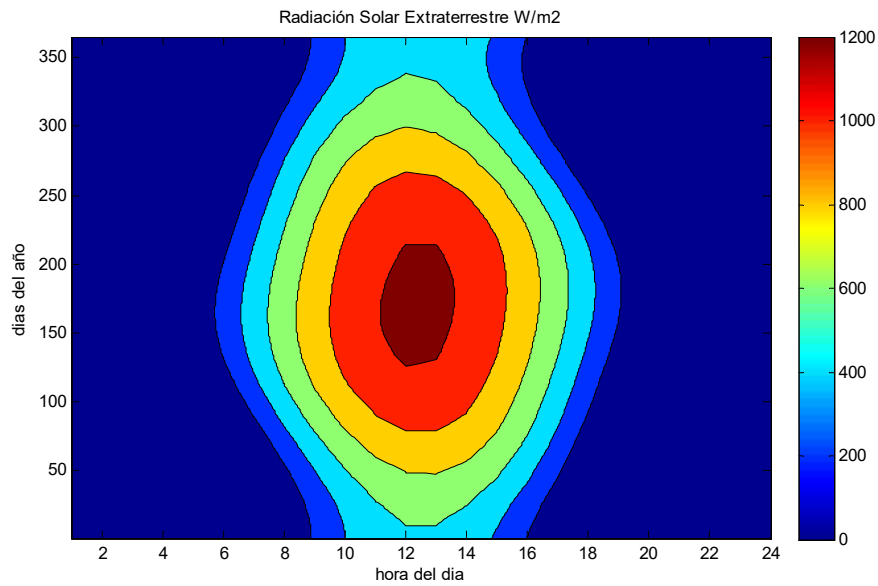
León, Carracedelo:



*Figura 9.2.2.: Radiación solar horaria extraterrestre en Carracedelo, León. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.*

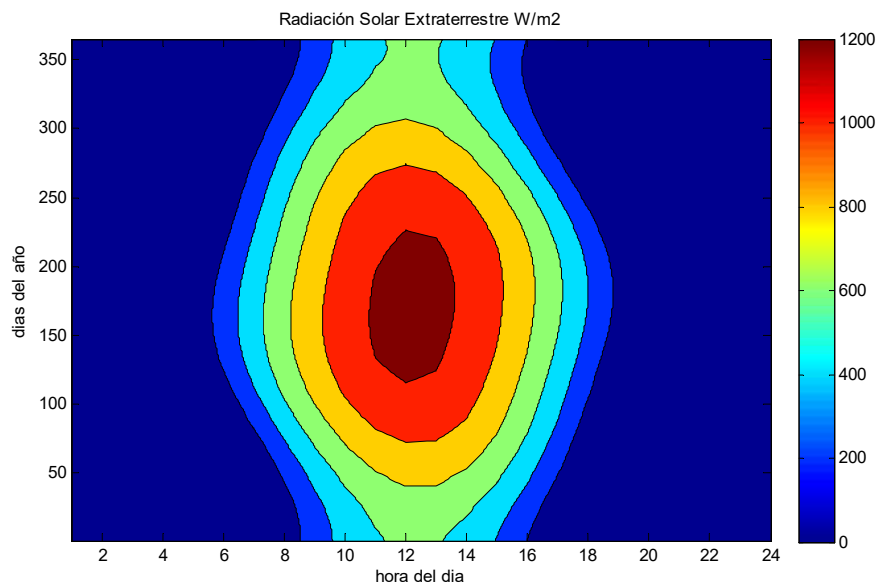


León, Bustillo del Páramo:



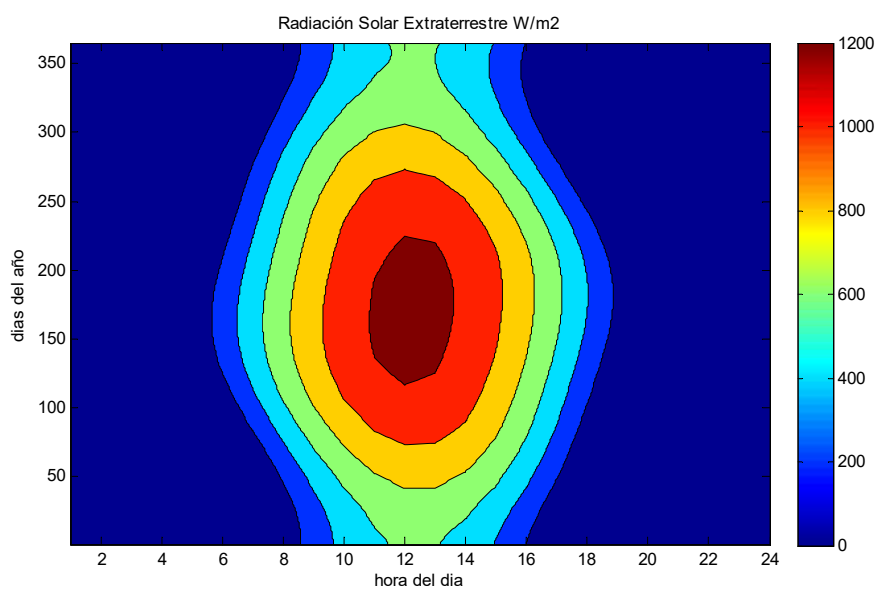
*Figura 9.2.3.: Radiación solar horaria extraterrestre en Bustillo del Páramo, León. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.*

Madrid, Fuentidueña de Tajo:



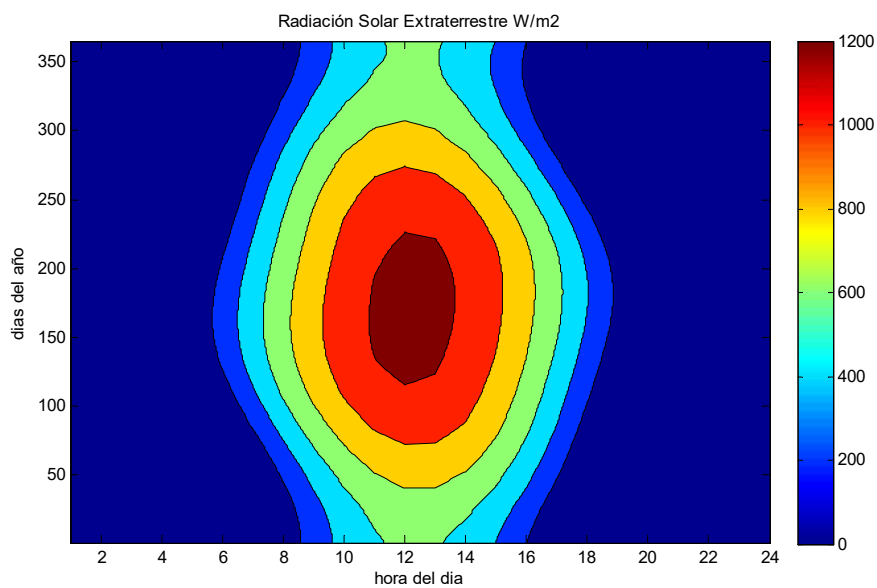
*Figura 9.2.4.: Radiación solar horaria extraterrestre en Fuentidueña de Tajo, Madrid. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.*

Madrid, CFE:



*Figura 9.2.5.: Radiación solar horaria extraterrestre en C. Finca Experimental, Madrid. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.*

Madrid, Aranjuez:



*Figura 9.2.6.: Radiación solar horaria extraterrestre en Aranjuez, Madrid. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.*

Córdoba, Santaella:

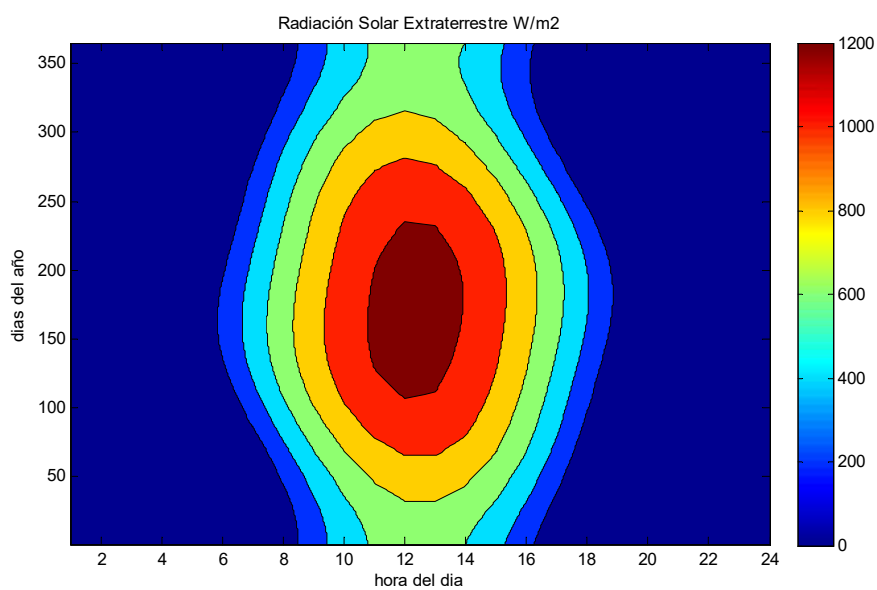


Figura 9.2.7.: Radiación solar horaria extraterrestre en Santaella, Córdoba. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.

Córdoba, Córdoba:

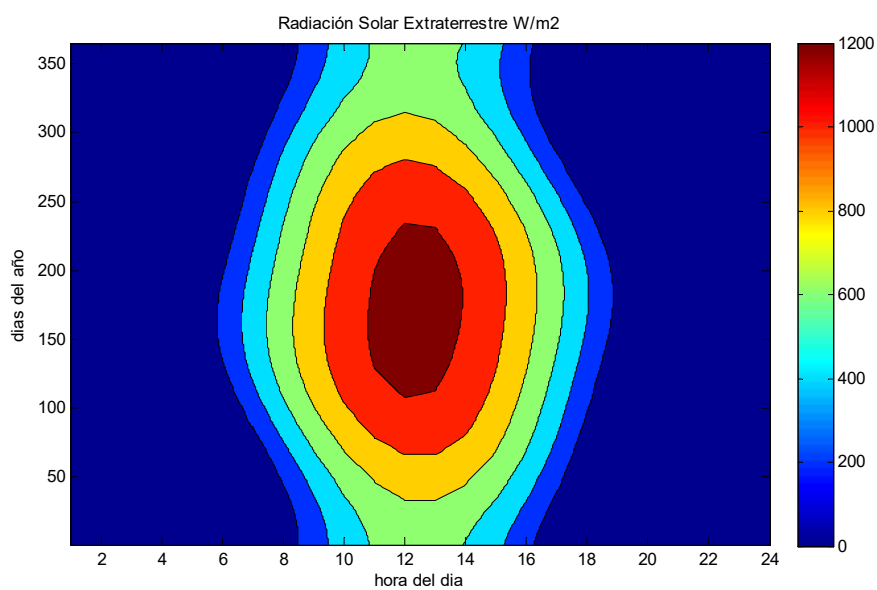
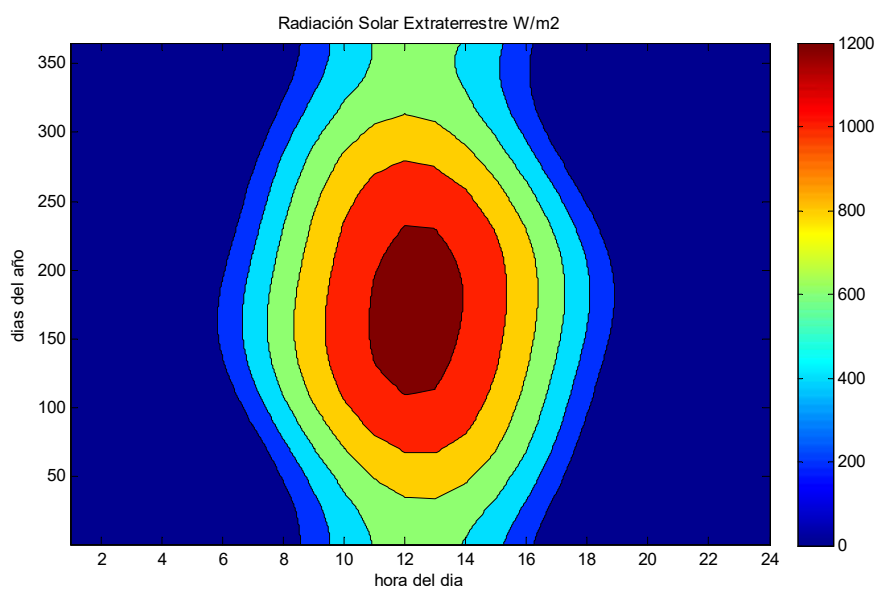


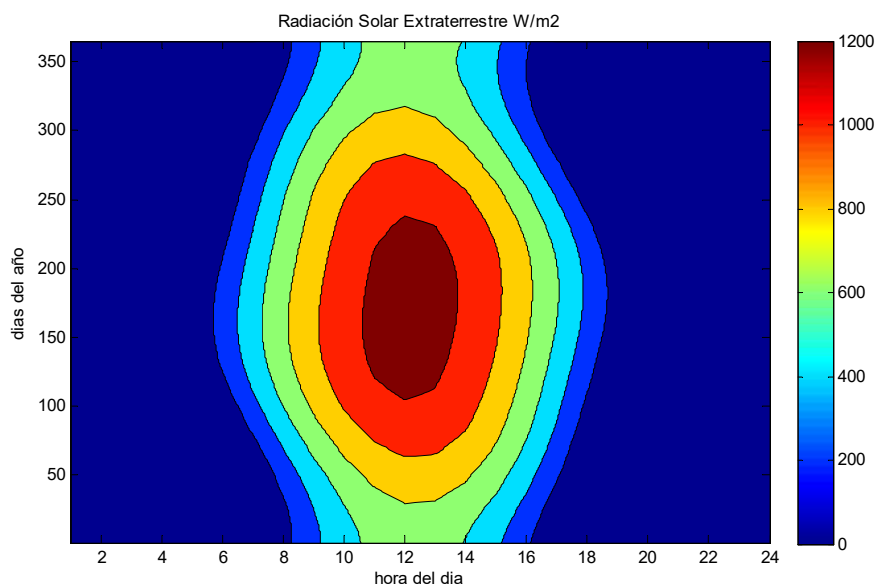
Figura 9.2.8.: Radiación solar horaria extraterrestre en Córdoba, Córdoba. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.

### Córdoba, Belmez



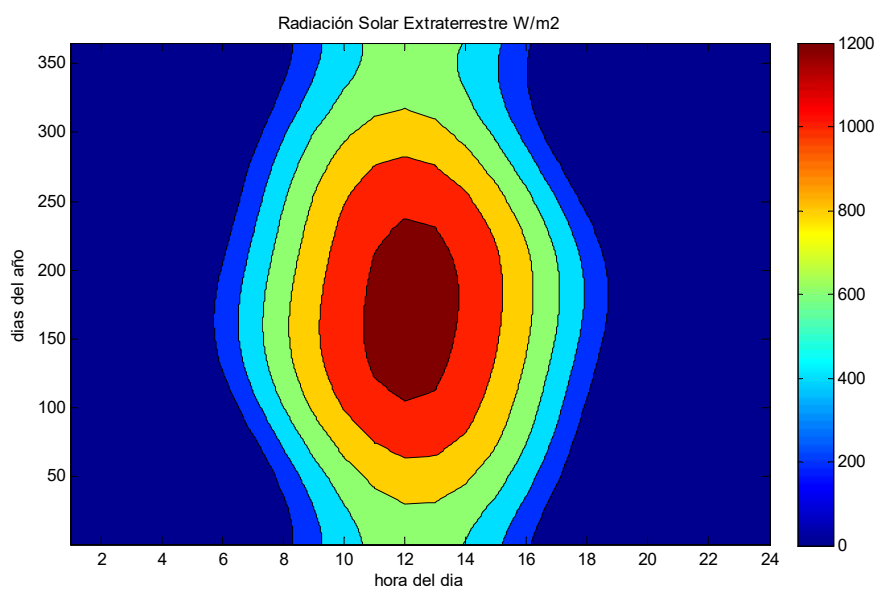
*Figura 9.2.9.: Radiación solar horaria extraterrestre en Belmez, Córdoba. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.*

### Almería, Tabernas:



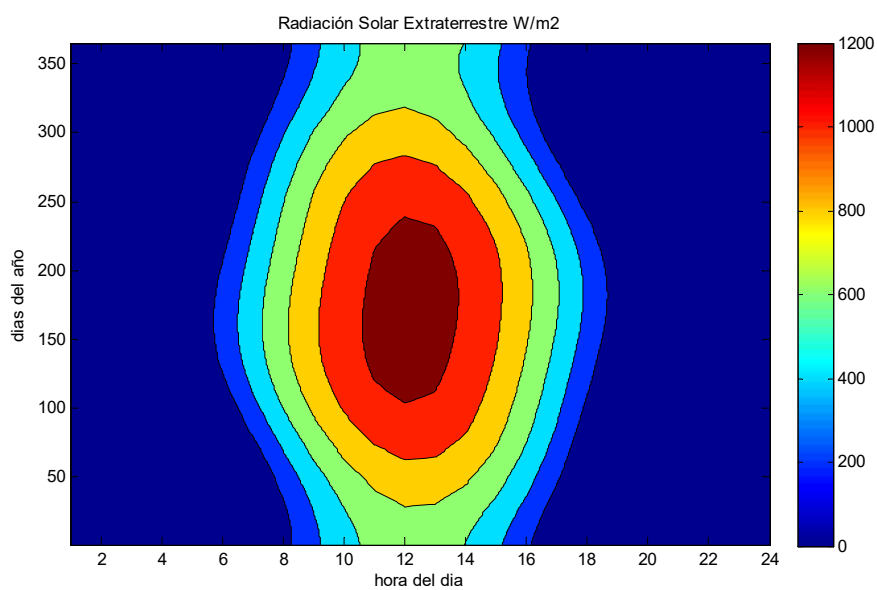
*Figura 9.2.10.: Radiación solar horaria extraterrestre en Tabernas, Almería. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.*

Almería, Fiñana:



*Figura 9.2.11.: Radiación solar horaria extraterrestre en Fiñana, Almería. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.*

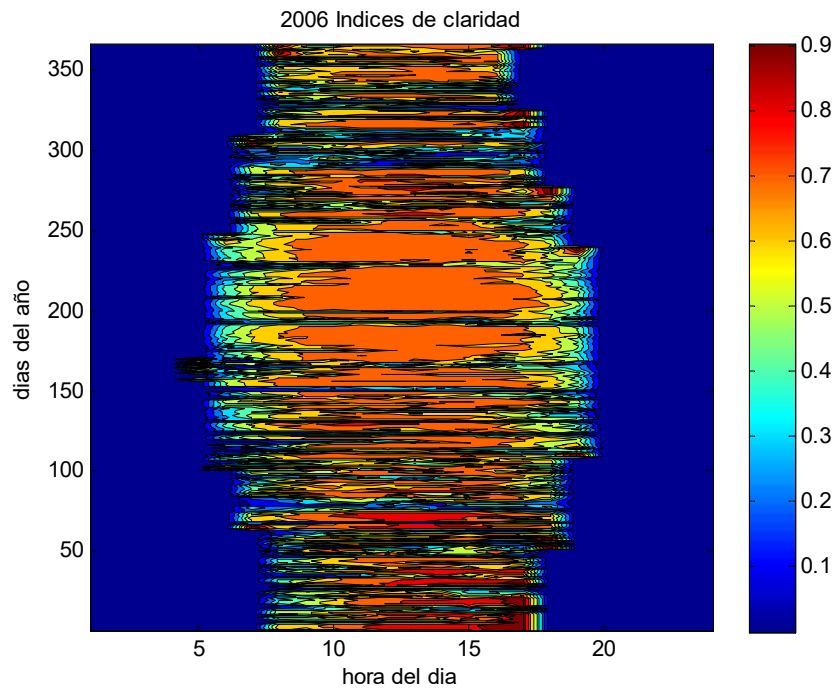
Almería, Almería:



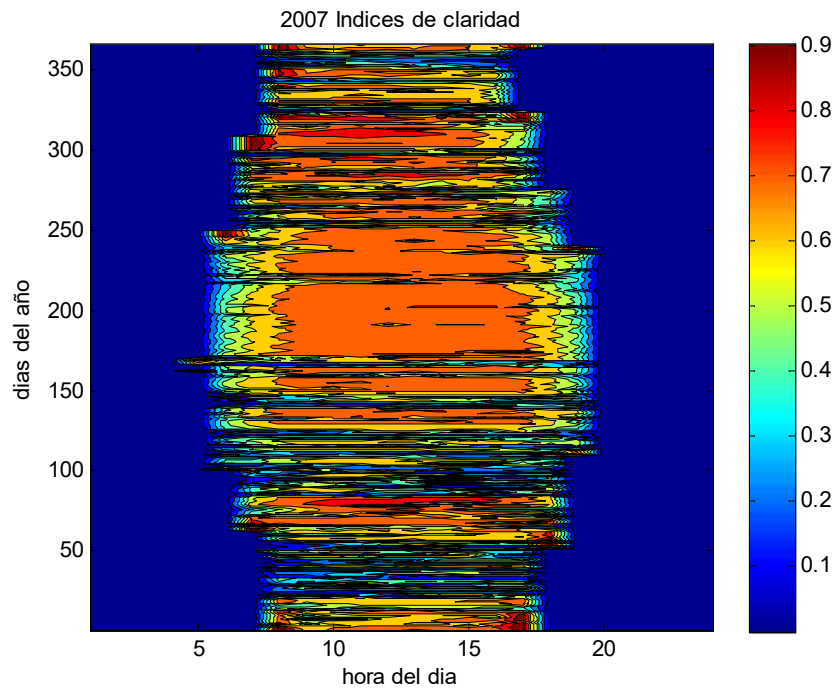
*Figura 9.2.12.: Radiación solar horaria extraterrestre en Almería, Almería. Imagen generada usando el programa de Matlab anteriormente descrito.*

### 9.3. Anexo 3

Córdoba, Santaella

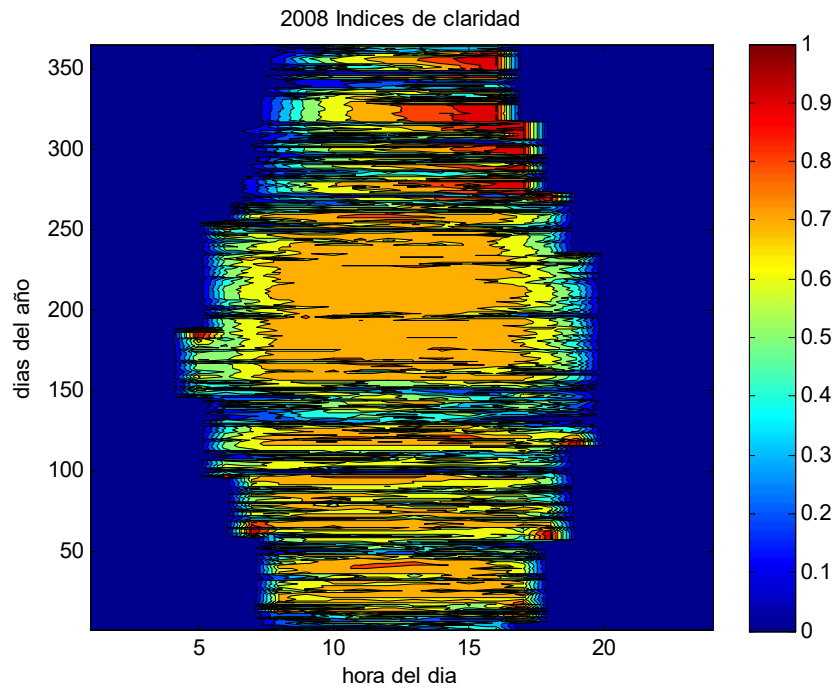


*Figura 9.3.2.: Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2006. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.*

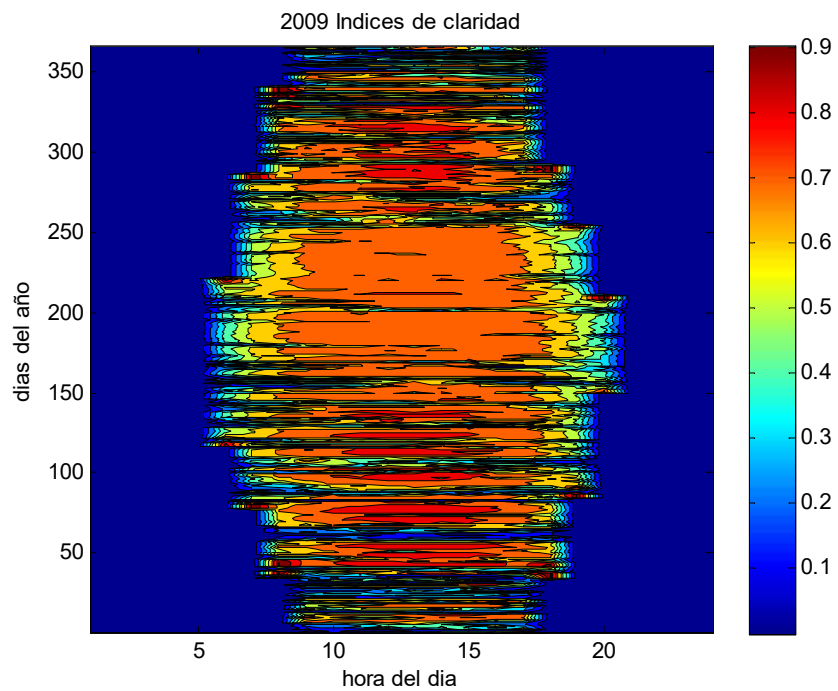


*Figura 9.3.3.: Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2007. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.*

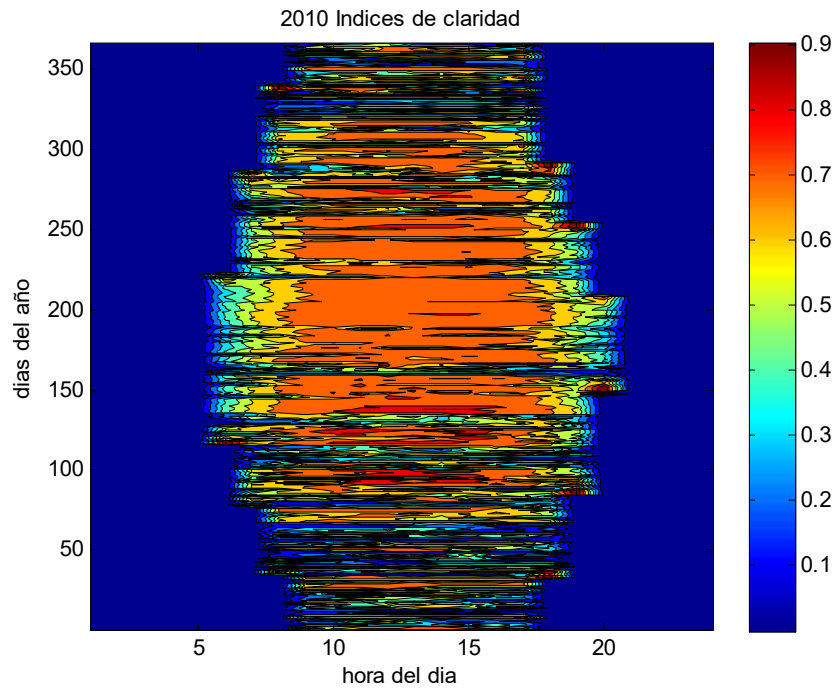




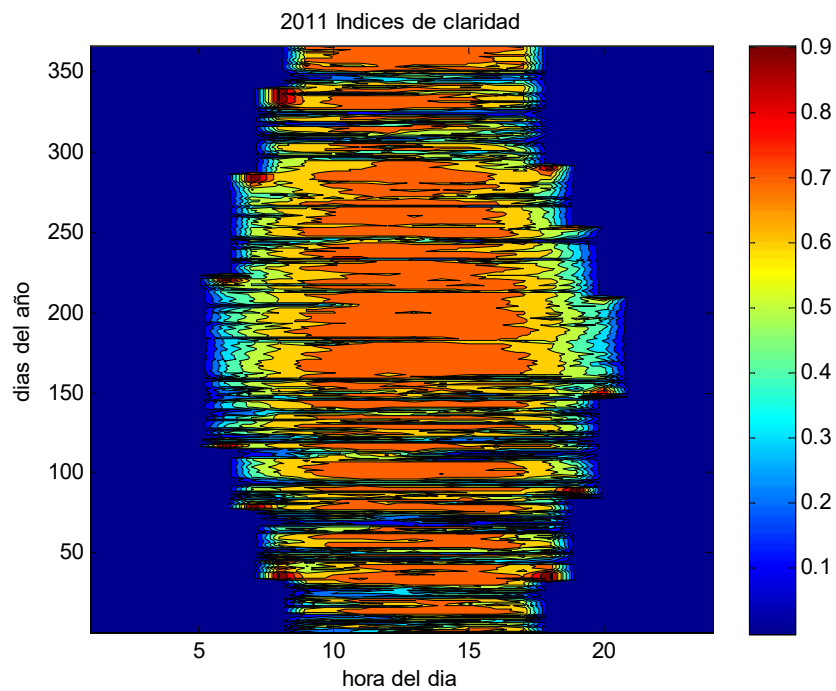
*Figura 9.3.4.: Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2008. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.*



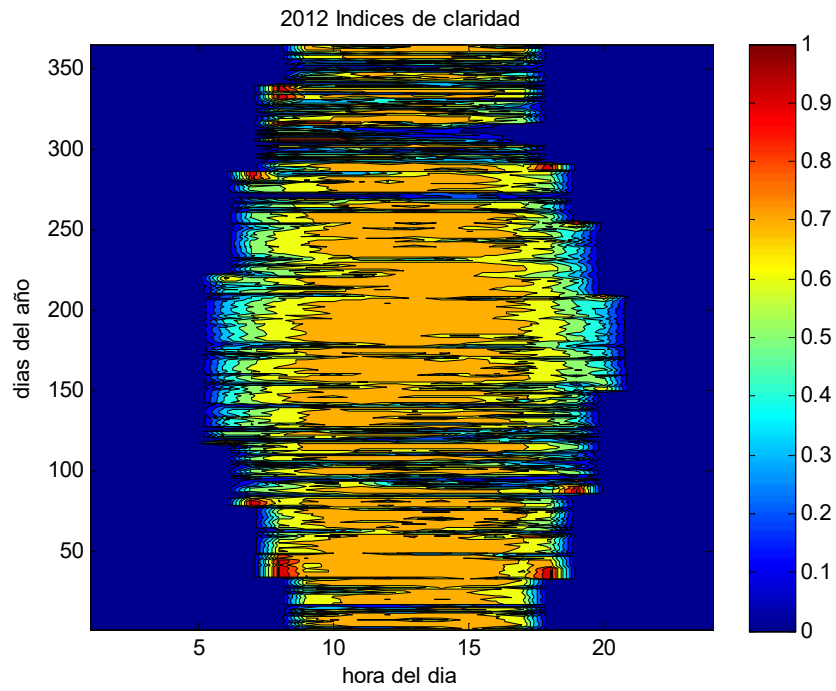
*Figura 9.3.5.: Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2009. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.*



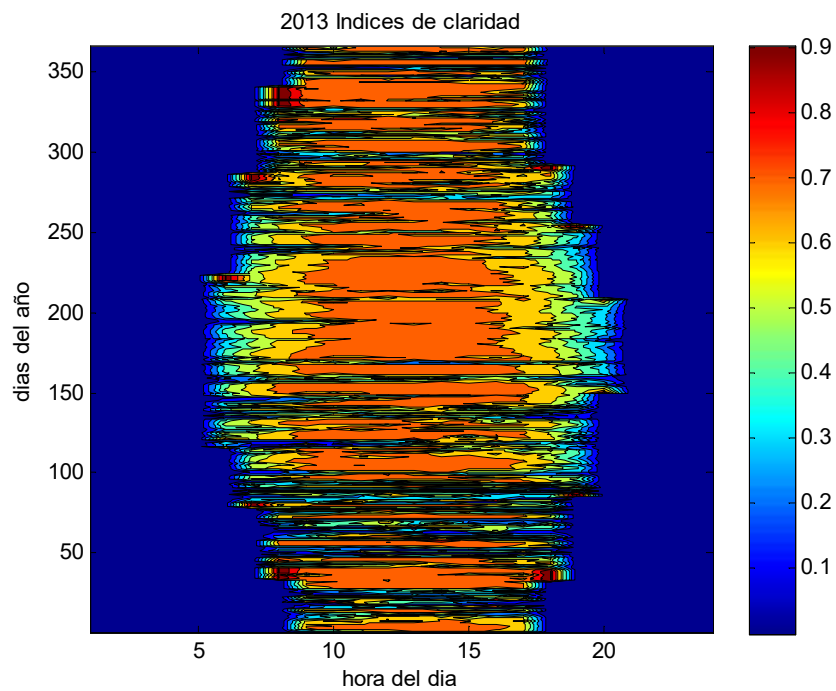
*Figura 9.3.6.: Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2010. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.*



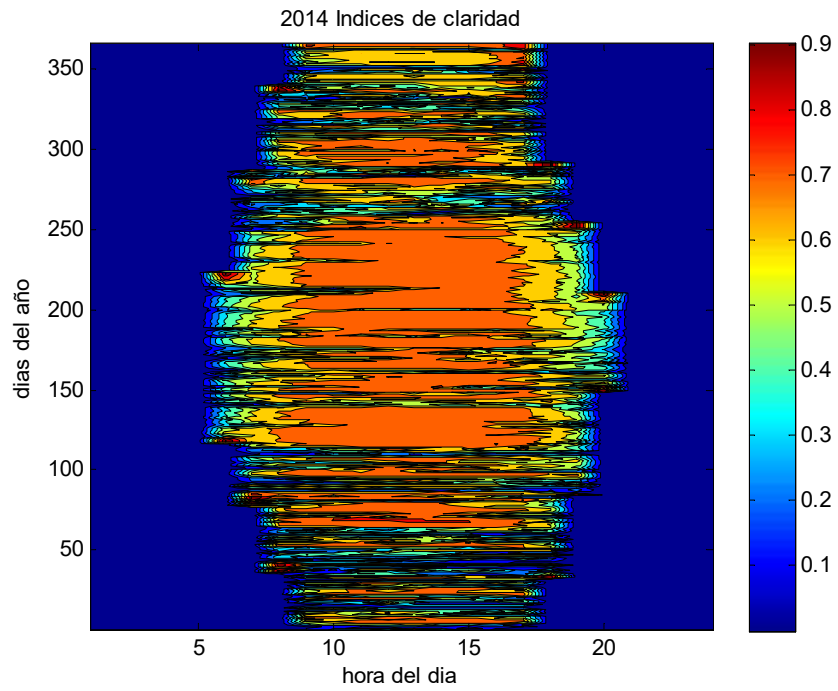
*Figura 9.3.7.: Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2011. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.*



*Figura 9.3.8.: Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2012. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.*



*Figura 9.3.9.: Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2013. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.*



*Figura 9.3.10.: Índices de claridad horarios en Santaella, Córdoba, 2014. Imagen generada usando un programa de Matlab anteriormente descrito.*

## 9.4. Anexo 4

### 9.4.1. Anexo 4.1

| Media anual |               | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  |
|-------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| León        | B. del Páramo | 0,596 | 0,572 | 0,590 | 0,587 | 0,620 |
|             | Carracedelo   | 0,502 | 0,484 | 0,548 | 0,545 | 0,571 |
|             | Sahagun       | 0,578 | 0,551 | 0,562 | 0,556 | 0,576 |
| Madrid      | F. de Tajo    | 0,605 | 0,579 | 0,591 | 0,592 | 0,601 |
|             | C.F.E.        | 0,613 | 0,578 | 0,581 | 0,554 | 0,582 |
|             | Aranjuez      | 0,592 | 0,547 | 0,562 | 0,552 | 0,581 |
| Córdoba     | Cordoba       | 0,626 | 0,602 | 0,619 | 0,590 | 0,595 |
|             | Santaella     | 0,636 | 0,588 | 0,574 | 0,581 | 0,601 |
|             | Belmez        | 0,671 | 0,591 | 0,593 | 0,587 | 0,590 |
| Almería     | Fiñana        | 0,663 | 0,622 | 0,655 | 0,655 | 0,642 |
|             | Almería       | 0,650 | 0,618 | 0,645 | 0,655 | 0,601 |
|             | Tabernas      | 0,639 | 0,596 | 0,603 | 0,606 | 0,617 |

| Media anual |               | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  |
|-------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| León        | B. del Páramo | 0,561 | 0,559 | 0,588 | 0,561 | 0,558 |
|             | Carracedelo   | 0,511 | 0,520 | 0,506 | 0,524 | 0,483 |
|             | Sahagun       | 0,549 | 0,561 | 0,554 | 0,509 | 0,539 |
| Madrid      | F. de Tajo    | 0,559 | 0,581 | 0,603 | 0,586 | 0,590 |
|             | C.F.E.        | 0,548 | 0,569 | 0,584 | 0,572 | 0,585 |
|             | Aranjuez      | 0,556 | 0,590 | 0,596 | 0,567 | 0,586 |
| Córdoba     | Cordoba       | 0,530 | 0,590 | 0,611 | 0,595 | 0,592 |
|             | Santaella     | 0,560 | 0,584 | 0,595 | 0,588 | 0,578 |
|             | Belmez        | 0,564 | 0,583 | 0,605 | 0,592 | 0,580 |
| Almería     | Fiñana        | 0,603 | 0,616 | 0,631 | 0,635 | 0,641 |
|             | Almería       | 0,558 | 0,597 | 0,620 | 0,638 | 0,651 |
|             | Tabernas      | 0,597 | 0,598 | 0,631 | 0,623 | 0,625 |

Tabla 9.4.1.1.: Media anual de los índices de claridad diarios por provincias y estaciones.

Observando los valores de las medias anuales se puede apreciar la homogeneidad climática tanto año a año para el conjunto de estaciones como estación por estación respecto a las demás.

#### 9.4.2. Anexo 4.2

| Media estacional |             | 2005  |       |       |       | 2006  |       |       |       |
|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León             | B. del P.   | 0,591 | 0,698 | 0,547 | 0,548 | 0,603 | 0,665 | 0,478 | 0,540 |
|                  | Carracedelo | 0,508 | 0,628 | 0,457 | 0,414 | 0,537 | 0,602 | 0,393 | 0,400 |
|                  | Sahagun     | 0,581 | 0,684 | 0,533 | 0,512 | 0,585 | 0,651 | 0,472 | 0,494 |
| Madrid           | F. de Tajo  | 0,599 | 0,670 | 0,548 | 0,604 | 0,607 | 0,673 | 0,524 | 0,510 |
|                  | C.F.E.      | 0,642 | 0,695 | 0,536 | 0,578 | 0,610 | 0,690 | 0,510 | 0,497 |
|                  | Aranjuez    | 0,605 | 0,652 | 0,545 | 0,566 | 0,579 | 0,627 | 0,489 | 0,490 |
| Córdoba          | Cordoba     | 0,600 | 0,692 | 0,599 | 0,611 | 0,587 | 0,682 | 0,566 | 0,574 |
|                  | Santaella   | 0,622 | 0,677 | 0,605 | 0,638 | 0,588 | 0,675 | 0,534 | 0,555 |
|                  | Belmez      | 0,655 | 0,734 | 0,640 | 0,654 | 0,614 | 0,690 | 0,511 | 0,548 |
| Almería          | Fiñana      | 0,670 | 0,715 | 0,626 | 0,642 | 0,615 | 0,699 | 0,603 | 0,569 |
|                  | Almería     | 0,656 | 0,674 | 0,632 | 0,637 | 0,613 | 0,683 | 0,607 | 0,569 |
|                  | Tabernas    | 0,645 | 0,669 | 0,619 | 0,623 | 0,620 | 0,640 | 0,576 | 0,547 |

| Media estacional |             | 2007  |       |       |       | 2008  |       |       |       |
|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León             | B. del P.   | 0,582 | 0,660 | 0,651 | 0,463 | 0,578 | 0,679 | 0,574 | 0,516 |
|                  | Carracedelo | 0,537 | 0,636 | 0,645 | 0,369 | 0,533 | 0,686 | 0,536 | 0,425 |
|                  | Sahagun     | 0,582 | 0,620 | 0,618 | 0,425 | 0,560 | 0,656 | 0,533 | 0,475 |
| Madrid           | F. de Tajo  | 0,560 | 0,680 | 0,653 | 0,470 | 0,588 | 0,679 | 0,603 | 0,496 |
|                  | C.F.E.      | 0,541 | 0,670 | 0,647 | 0,465 | 0,508 | 0,665 | 0,567 | 0,476 |
|                  | Aranjuez    | 0,546 | 0,637 | 0,615 | 0,449 | 0,552 | 0,649 | 0,544 | 0,460 |
| Córdoba          | Cordoba     | 0,606 | 0,690 | 0,642 | 0,538 | 0,604 | 0,675 | 0,560 | 0,521 |
|                  | Santaella   | 0,525 | 0,700 | 0,611 | 0,458 | 0,553 | 0,716 | 0,552 | 0,500 |
|                  | Belmez      | 0,563 | 0,695 | 0,618 | 0,496 | 0,575 | 0,709 | 0,553 | 0,509 |
| Almería          | Fiñana      | 0,628 | 0,732 | 0,633 | 0,625 | 0,679 | 0,737 | 0,585 | 0,619 |
|                  | Almería     | 0,641 | 0,707 | 0,618 | 0,612 | 0,681 | 0,713 | 0,623 | 0,602 |
|                  | Tabernas    | 0,583 | 0,677 | 0,578 | 0,574 | 0,632 | 0,680 | 0,556 | 0,556 |

| Media estacional |             | 2009  |       |       |       | 2010  |       |       |       |
|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León             | B. del P.   | 0,684 | 0,697 | 0,586 | 0,512 | 0,590 | 0,650 | 0,547 | 0,455 |
|                  | Carracedelo | 0,655 | 0,685 | 0,506 | 0,434 | 0,557 | 0,636 | 0,465 | 0,382 |
|                  | Sahagun     | 0,641 | 0,653 | 0,563 | 0,446 | 0,576 | 0,653 | 0,545 | 0,421 |
| Madrid           | F. de Tajo  | 0,642 | 0,706 | 0,610 | 0,442 | 0,582 | 0,664 | 0,555 | 0,432 |
|                  | C.F.E.      | 0,612 | 0,636 | 0,613 | 0,466 | 0,560 | 0,631 | 0,556 | 0,443 |
|                  | Aranjuez    | 0,625 | 0,680 | 0,588 | 0,428 | 0,575 | 0,653 | 0,569 | 0,425 |
| Córdoba          | Cordoba     | 0,625 | 0,713 | 0,582 | 0,456 | 0,538 | 0,632 | 0,551 | 0,395 |
|                  | Santaella   | 0,617 | 0,700 | 0,622 | 0,461 | 0,588 | 0,689 | 0,549 | 0,411 |
|                  | Belmez      | 0,611 | 0,687 | 0,601 | 0,457 | 0,589 | 0,675 | 0,561 | 0,427 |
| Almería          | Fiñana      | 0,678 | 0,702 | 0,614 | 0,571 | 0,601 | 0,688 | 0,618 | 0,502 |
|                  | Almería     | 0,677 | 0,652 | 0,535 | 0,537 | 0,526 | 0,658 | 0,597 | 0,449 |
|                  | Tabernas    | 0,640 | 0,687 | 0,585 | 0,553 | 0,596 | 0,670 | 0,592 | 0,528 |



| Media estacional |             | 2011  |       |       |       | 2012  |       |       |       |
|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León             | B. del P.   | 0,553 | 0,664 | 0,562 | 0,455 | 0,589 | 0,674 | 0,541 | 0,546 |
|                  | Carracedelo | 0,547 | 0,626 | 0,520 | 0,386 | 0,511 | 0,597 | 0,492 | 0,422 |
|                  | Sahagun     | 0,571 | 0,674 | 0,565 | 0,431 | 0,581 | 0,678 | 0,479 | 0,474 |
| Madrid           | F. de Tajo  | 0,548 | 0,673 | 0,579 | 0,524 | 0,590 | 0,706 | 0,543 | 0,571 |
|                  | C.F.E.      | 0,543 | 0,648 | 0,564 | 0,518 | 0,594 | 0,670 | 0,524 | 0,548 |
|                  | Aranjuez    | 0,559 | 0,680 | 0,598 | 0,521 | 0,604 | 0,692 | 0,519 | 0,567 |
| Córdoba          | Cordoba     | 0,556 | 0,677 | 0,589 | 0,539 | 0,608 | 0,690 | 0,540 | 0,603 |
|                  | Santaella   | 0,543 | 0,678 | 0,581 | 0,531 | 0,590 | 0,682 | 0,529 | 0,577 |
|                  | Belmez      | 0,536 | 0,681 | 0,579 | 0,534 | 0,591 | 0,702 | 0,540 | 0,587 |
| Almería          | Fiñana      | 0,572 | 0,682 | 0,607 | 0,602 | 0,644 | 0,682 | 0,564 | 0,632 |
|                  | Almería     | 0,554 | 0,651 | 0,598 | 0,585 | 0,663 | 0,653 | 0,562 | 0,602 |
|                  | Tabernas    | 0,543 | 0,648 | 0,604 | 0,596 | 0,666 | 0,658 | 0,556 | 0,642 |

| Media estacional |             | 2013  |       |       |       | 2014  |       |       |       |
|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León             | B. del P.   | 0,532 | 0,669 | 0,558 | 0,482 | 0,606 | 0,668 | 0,490 | 0,464 |
|                  | Carracedelo | 0,520 | 0,658 | 0,517 | 0,400 | 0,558 | 0,605 | 0,423 | 0,344 |
|                  | Sahagun     | 0,464 | 0,653 | 0,494 | 0,423 | 0,596 | 0,663 | 0,497 | 0,395 |
| Madrid           | F. de Tajo  | 0,536 | 0,681 | 0,594 | 0,531 | 0,617 | 0,693 | 0,551 | 0,498 |
|                  | C.F.E.      | 0,533 | 0,672 | 0,565 | 0,517 | 0,610 | 0,686 | 0,547 | 0,494 |
|                  | Aranjuez    | 0,539 | 0,664 | 0,560 | 0,503 | 0,608 | 0,698 | 0,556 | 0,480 |
| Córdoba          | Cordoba     | 0,555 | 0,687 | 0,590 | 0,546 | 0,634 | 0,698 | 0,550 | 0,486 |
|                  | Santaella   | 0,543 | 0,669 | 0,604 | 0,535 | 0,616 | 0,686 | 0,548 | 0,458 |
|                  | Belmez      | 0,553 | 0,689 | 0,595 | 0,531 | 0,609 | 0,693 | 0,554 | 0,462 |
| Almería          | Fiñana      | 0,598 | 0,709 | 0,617 | 0,614 | 0,675 | 0,710 | 0,589 | 0,587 |
|                  | Almería     | 0,596 | 0,705 | 0,629 | 0,621 | 0,682 | 0,697 | 0,606 | 0,618 |
|                  | Tabernas    | 0,595 | 0,701 | 0,596 | 0,600 | 0,640 | 0,671 | 0,593 | 0,595 |

*Tabla 9.4.2.1.: Media estacional de los índices de claridad diarios por provincias y estaciones.*

En esta ocasión también se puede sacar alguna conclusión, como el hecho de que el verano posee índices de claridad marcadamente superiores al resto de las estaciones; en torno a un veinte por ciento superiores.

### 9.4.3. Anexo 4.3

| Desviación típica anual |               | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  |
|-------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>León</b>             | B. del Páramo | 0,183 | 0,192 | 0,180 | 0,183 | 0,195 |
|                         | Carracedelo   | 0,189 | 0,189 | 0,201 | 0,206 | 0,223 |
|                         | Sahagun       | 0,178 | 0,189 | 0,185 | 0,184 | 0,199 |
| <b>Madrid</b>           | F. de Tajo    | 0,157 | 0,176 | 0,179 | 0,190 | 0,187 |
|                         | C.F.E.        | 0,156 | 0,181 | 0,179 | 0,185 | 0,202 |
|                         | Aranjuez      | 0,147 | 0,177 | 0,170 | 0,175 | 0,181 |
| <b>Córdoba</b>          | Cordoba       | 0,155 | 0,172 | 0,170 | 0,169 | 0,189 |
|                         | Santaella     | 0,144 | 0,162 | 0,175 | 0,169 | 0,186 |
|                         | Belmez        | 0,163 | 0,176 | 0,170 | 0,175 | 0,179 |
| <b>Almería</b>          | Fiñana        | 0,151 | 0,169 | 0,178 | 0,178 | 0,163 |
|                         | Almería       | 0,129 | 0,146 | 0,138 | 0,146 | 0,154 |
|                         | Tabernas      | 0,141 | 0,164 | 0,161 | 0,163 | 0,155 |

| Desviación típica anual |               | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  |
|-------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>León</b>             | B. del Páramo | 0,188 | 0,197 | 0,178 | 0,185 | 0,188 |
|                         | Carracedelo   | 0,200 | 0,195 | 0,192 | 0,202 | 0,197 |
|                         | Sahagun       | 0,194 | 0,201 | 0,194 | 0,198 | 0,198 |
| <b>Madrid</b>           | F. de Tajo    | 0,196 | 0,170 | 0,174 | 0,178 | 0,171 |
|                         | C.F.E.        | 0,185 | 0,168 | 0,163 | 0,170 | 0,161 |
|                         | Aranjuez      | 0,194 | 0,170 | 0,171 | 0,171 | 0,170 |
| <b>Córdoba</b>          | Cordoba       | 0,188 | 0,158 | 0,158 | 0,170 | 0,166 |
|                         | Santaella     | 0,195 | 0,157 | 0,162 | 0,161 | 0,164 |
|                         | Belmez        | 0,197 | 0,163 | 0,167 | 0,173 | 0,169 |
| <b>Almería</b>          | Fiñana        | 0,183 | 0,163 | 0,154 | 0,152 | 0,158 |
|                         | Almería       | 0,168 | 0,137 | 0,131 | 0,135 | 0,130 |
|                         | Tabernas      | 0,169 | 0,156 | 0,140 | 0,149 | 0,131 |

Tabla 9.4.3.1.: Desviación típica anual de los índices de claridad diarios por provincias y estaciones.

#### 9.4.4. Anexo 4.4

| Desviación típica estacional |             | 2005  |       |       |       | 2006  |       |       |       |
|------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León                         | B. del P.   | 0,169 | 0,075 | 0,213 | 0,201 | 0,166 | 0,131 | 0,208 | 0,202 |
|                              | Carracedelo | 0,180 | 0,102 | 0,203 | 0,186 | 0,169 | 0,136 | 0,177 | 0,182 |
|                              | Sahagun     | 0,168 | 0,077 | 0,199 | 0,191 | 0,167 | 0,122 | 0,196 | 0,207 |
| Madrid                       | F. de Tajo  | 0,153 | 0,091 | 0,183 | 0,164 | 0,139 | 0,094 | 0,195 | 0,204 |
|                              | C.F.E.      | 0,135 | 0,093 | 0,179 | 0,158 | 0,149 | 0,097 | 0,209 | 0,180 |
|                              | Aranjuez    | 0,136 | 0,083 | 0,173 | 0,161 | 0,157 | 0,117 | 0,196 | 0,187 |
| Córdoba                      | Cordoba     | 0,171 | 0,061 | 0,160 | 0,180 | 0,169 | 0,104 | 0,194 | 0,183 |
|                              | Santaella   | 0,152 | 0,071 | 0,156 | 0,169 | 0,163 | 0,105 | 0,183 | 0,152 |
|                              | Belmez      | 0,176 | 0,091 | 0,173 | 0,181 | 0,171 | 0,113 | 0,189 | 0,167 |
| Almería                      | Fiñana      | 0,146 | 0,072 | 0,164 | 0,186 | 0,165 | 0,114 | 0,175 | 0,189 |
|                              | Almería     | 0,133 | 0,074 | 0,132 | 0,159 | 0,150 | 0,083 | 0,145 | 0,168 |
|                              | Tabernas    | 0,138 | 0,071 | 0,146 | 0,184 | 0,155 | 0,146 | 0,159 | 0,181 |

| Desviación típica estacional |             | 2007  |       |       |       | 2008  |       |       |       |
|------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León                         | B. del P.   | 0,161 | 0,117 | 0,153 | 0,209 | 0,155 | 0,128 | 0,190 | 0,212 |
|                              | Carracedelo | 0,157 | 0,168 | 0,178 | 0,170 | 0,192 | 0,126 | 0,204 | 0,206 |
|                              | Sahagun     | 0,166 | 0,134 | 0,164 | 0,199 | 0,161 | 0,113 | 0,187 | 0,214 |
| Madrid                       | F. de Tajo  | 0,174 | 0,110 | 0,136 | 0,202 | 0,180 | 0,097 | 0,204 | 0,212 |
|                              | C.F.E.      | 0,174 | 0,116 | 0,147 | 0,191 | 0,152 | 0,133 | 0,181 | 0,210 |
|                              | Aranjuez    | 0,173 | 0,112 | 0,132 | 0,188 | 0,177 | 0,089 | 0,165 | 0,196 |
| Córdoba                      | Cordoba     | 0,177 | 0,101 | 0,150 | 0,203 | 0,166 | 0,062 | 0,171 | 0,203 |
|                              | Santaella   | 0,181 | 0,092 | 0,144 | 0,169 | 0,153 | 0,058 | 0,173 | 0,177 |
|                              | Belmez      | 0,174 | 0,124 | 0,146 | 0,167 | 0,166 | 0,072 | 0,180 | 0,189 |
| Almería                      | Fiñana      | 0,191 | 0,091 | 0,182 | 0,204 | 0,163 | 0,090 | 0,198 | 0,202 |
|                              | Almería     | 0,147 | 0,058 | 0,149 | 0,155 | 0,139 | 0,069 | 0,148 | 0,178 |
|                              | Tabernas    | 0,179 | 0,075 | 0,160 | 0,184 | 0,152 | 0,088 | 0,169 | 0,191 |

| Desviación típica estacional |             | 2009  |       |       |       | 2010  |       |       |       |
|------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León                         | B. del P.   | 0,154 | 0,126 | 0,207 | 0,222 | 0,187 | 0,127 | 0,165 | 0,209 |
|                              | Carracedelo | 0,181 | 0,163 | 0,219 | 0,224 | 0,189 | 0,140 | 0,182 | 0,192 |
|                              | Sahagun     | 0,159 | 0,125 | 0,196 | 0,231 | 0,184 | 0,128 | 0,180 | 0,203 |
| Madrid                       | F. de Tajo  | 0,165 | 0,087 | 0,149 | 0,217 | 0,184 | 0,135 | 0,177 | 0,211 |
|                              | C.F.E.      | 0,211 | 0,174 | 0,153 | 0,221 | 0,178 | 0,121 | 0,169 | 0,212 |
|                              | Aranjuez    | 0,158 | 0,084 | 0,144 | 0,212 | 0,187 | 0,136 | 0,172 | 0,204 |
| Córdoba                      | Cordoba     | 0,188 | 0,083 | 0,145 | 0,216 | 0,168 | 0,109 | 0,188 | 0,194 |
|                              | Santaella   | 0,183 | 0,082 | 0,146 | 0,219 | 0,173 | 0,107 | 0,198 | 0,180 |
|                              | Belmez      | 0,174 | 0,085 | 0,151 | 0,205 | 0,188 | 0,125 | 0,189 | 0,196 |
| Almería                      | Fiñana      | 0,160 | 0,106 | 0,148 | 0,196 | 0,197 | 0,116 | 0,169 | 0,191 |
|                              | Almería     | 0,123 | 0,068 | 0,135 | 0,202 | 0,172 | 0,081 | 0,159 | 0,166 |
|                              | Tabernas    | 0,152 | 0,069 | 0,141 | 0,196 | 0,172 | 0,100 | 0,179 | 0,182 |

| Desviación típica estacional |             | 2011  |       |       |       | 2012  |       |       |       |
|------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León                         | B. del P.   | 0,175 | 0,122 | 0,204 | 0,219 | 0,174 | 0,100 | 0,188 | 0,201 |
|                              | Carracedelo | 0,175 | 0,143 | 0,187 | 0,194 | 0,181 | 0,154 | 0,181 | 0,211 |
|                              | Sahagun     | 0,176 | 0,126 | 0,200 | 0,214 | 0,187 | 0,090 | 0,190 | 0,211 |
| Madrid                       | F. de Tajo  | 0,176 | 0,075 | 0,169 | 0,196 | 0,155 | 0,084 | 0,205 | 0,183 |
|                              | C.F.E.      | 0,177 | 0,092 | 0,171 | 0,190 | 0,154 | 0,077 | 0,176 | 0,183 |
|                              | Aranjuez    | 0,178 | 0,077 | 0,164 | 0,197 | 0,157 | 0,073 | 0,190 | 0,189 |
| Córdoba                      | Cordoba     | 0,180 | 0,074 | 0,147 | 0,172 | 0,148 | 0,064 | 0,191 | 0,164 |
|                              | Santaella   | 0,180 | 0,073 | 0,148 | 0,161 | 0,157 | 0,059 | 0,189 | 0,172 |
|                              | Belmez      | 0,180 | 0,095 | 0,165 | 0,157 | 0,159 | 0,065 | 0,192 | 0,180 |
| Almería                      | Fiñana      | 0,192 | 0,096 | 0,165 | 0,164 | 0,141 | 0,093 | 0,201 | 0,138 |
|                              | Almería     | 0,146 | 0,071 | 0,148 | 0,150 | 0,098 | 0,060 | 0,175 | 0,137 |
|                              | Tabernas    | 0,176 | 0,092 | 0,155 | 0,171 | 0,110 | 0,065 | 0,196 | 0,129 |

| Desviación típica estacional |             | 2013  |       |       |       | 2014  |       |       |       |
|------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León                         | B. del P.   | 0,186 | 0,105 | 0,181 | 0,204 | 0,161 | 0,112 | 0,193 | 0,197 |
|                              | Carracedelo | 0,205 | 0,119 | 0,197 | 0,188 | 0,196 | 0,138 | 0,178 | 0,154 |
|                              | Sahagun     | 0,185 | 0,126 | 0,193 | 0,200 | 0,174 | 0,111 | 0,198 | 0,189 |
| Madrid                       | F. de Tajo  | 0,181 | 0,089 | 0,176 | 0,202 | 0,153 | 0,076 | 0,166 | 0,199 |
|                              | C.F.E.      | 0,176 | 0,092 | 0,162 | 0,190 | 0,143 | 0,086 | 0,150 | 0,183 |
|                              | Aranjuez    | 0,185 | 0,086 | 0,165 | 0,186 | 0,149 | 0,087 | 0,160 | 0,189 |
| Córdoba                      | Cordoba     | 0,188 | 0,081 | 0,134 | 0,211 | 0,152 | 0,078 | 0,143 | 0,190 |
|                              | Santaella   | 0,177 | 0,074 | 0,134 | 0,195 | 0,164 | 0,065 | 0,141 | 0,172 |
|                              | Belmez      | 0,181 | 0,098 | 0,152 | 0,202 | 0,167 | 0,076 | 0,139 | 0,185 |
| Almería                      | Fiñana      | 0,173 | 0,093 | 0,131 | 0,171 | 0,144 | 0,095 | 0,171 | 0,173 |
|                              | Almería     | 0,165 | 0,056 | 0,121 | 0,149 | 0,114 | 0,060 | 0,146 | 0,155 |
|                              | Tabernas    | 0,174 | 0,078 | 0,128 | 0,170 | 0,121 | 0,057 | 0,140 | 0,167 |

*Tabla 9.4.4.1.: Desviación típica estacional de los índices de claridad diarios por provincias y estaciones.*

Como era de esperar verano es la estación con menos dispersión.

#### 9.4.5. Anexo 4.5

| Media anual |               | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  |
|-------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| León        | B. del Páramo | 0,573 | 0,550 | 0,563 | 0,565 | 0,597 |
|             | Carracedelo   | 0,483 | 0,464 | 0,522 | 0,524 | 0,550 |
|             | Sahagun       | 0,555 | 0,531 | 0,535 | 0,535 | 0,555 |
| Madrid      | F. de Tajo    | 0,605 | 0,577 | 0,588 | 0,593 | 0,600 |
|             | C.F.E.        | 0,610 | 0,574 | 0,577 | 0,532 | 0,576 |
|             | Aranjuez      | 0,589 | 0,544 | 0,562 | 0,552 | 0,580 |
| Córdoba     | Cordoba       | 0,648 | 0,622 | 0,641 | 0,610 | 0,616 |
|             | Santaella     | 0,661 | 0,610 | 0,596 | 0,603 | 0,622 |
|             | Belmez        | 0,691 | 0,597 | 0,608 | 0,602 | 0,604 |
| Almería     | Fiñana        | 0,693 | 0,648 | 0,684 | 0,685 | 0,672 |
|             | Almería       | 0,683 | 0,647 | 0,678 | 0,689 | 0,632 |
|             | Tabernas      | 0,670 | 0,623 | 0,633 | 0,635 | 0,646 |

| Media anual |               | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  |
|-------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| León        | B. del Páramo | 0,539 | 0,538 | 0,563 | 0,537 | 0,536 |
|             | Carracedelo   | 0,494 | 0,502 | 0,485 | 0,503 | 0,464 |
|             | Sahagun       | 0,529 | 0,541 | 0,534 | 0,490 | 0,519 |
| Madrid      | F. de Tajo    | 0,555 | 0,581 | 0,601 | 0,585 | 0,589 |
|             | C.F.E.        | 0,544 | 0,564 | 0,575 | 0,565 | 0,577 |
|             | Aranjuez      | 0,553 | 0,590 | 0,596 | 0,566 | 0,585 |
| Córdoba     | Cordoba       | 0,549 | 0,610 | 0,630 | 0,614 | 0,610 |
|             | Santaella     | 0,580 | 0,606 | 0,617 | 0,611 | 0,598 |
|             | Belmez        | 0,579 | 0,598 | 0,621 | 0,608 | 0,595 |
| Almería     | Fiñana        | 0,631 | 0,644 | 0,657 | 0,664 | 0,670 |
|             | Almería       | 0,587 | 0,629 | 0,604 | 0,660 | 0,684 |
|             | Tabernas      | 0,625 | 0,627 | 0,645 | 0,655 | 0,655 |

Tabla 9.4.5.1.: Media anual de los índices de claridad horarios por provincias y estaciones.

Los valores presentan una forma similar a los obtenidos a partir de datos horarios, pero son homogéneamente inferiores.

#### 9.4.6. Anexo 4.6

| Media estacional |             | 2005  |       |       |       | 2006  |       |       |       |
|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León             | B. del P.   | 0,578 | 0,694 | 0,516 | 0,500 | 0,590 | 0,663 | 0,453 | 0,492 |
|                  | Carracedelo | 0,496 | 0,625 | 0,431 | 0,376 | 0,525 | 0,600 | 0,366 | 0,364 |
|                  | Sahagun     | 0,566 | 0,680 | 0,503 | 0,468 | 0,573 | 0,649 | 0,447 | 0,452 |
| Madrid           | F. de Tajo  | 0,598 | 0,669 | 0,546 | 0,605 | 0,600 | 0,672 | 0,522 | 0,510 |
|                  | C.F.E.      | 0,633 | 0,697 | 0,532 | 0,578 | 0,608 | 0,690 | 0,505 | 0,490 |
|                  | Aranjuez    | 0,600 | 0,652 | 0,545 | 0,559 | 0,577 | 0,611 | 0,494 | 0,491 |
| Córdoba          | Cordoba     | 0,608 | 0,693 | 0,627 | 0,661 | 0,589 | 0,684 | 0,592 | 0,622 |
|                  | Santaella   | 0,633 | 0,678 | 0,637 | 0,698 | 0,592 | 0,677 | 0,561 | 0,608 |
|                  | Belmez      | 0,663 | 0,739 | 0,664 | 0,699 | 0,608 | 0,691 | 0,528 | 0,557 |
| Almería          | Fiñana      | 0,684 | 0,713 | 0,664 | 0,712 | 0,623 | 0,701 | 0,637 | 0,630 |
|                  | Almería     | 0,672 | 0,677 | 0,669 | 0,716 | 0,621 | 0,685 | 0,649 | 0,634 |
|                  | Tabernas    | 0,659 | 0,670 | 0,660 | 0,690 | 0,628 | 0,642 | 0,614 | 0,606 |

| Media estacional |             | 2007  |       |       |       | 2008  |       |       |       |
|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León             | B. del P.   | 0,569 | 0,654 | 0,604 | 0,421 | 0,563 | 0,681 | 0,543 | 0,471 |
|                  | Carracedelo | 0,524 | 0,634 | 0,594 | 0,333 | 0,520 | 0,682 | 0,506 | 0,388 |
|                  | Sahagun     | 0,568 | 0,626 | 0,564 | 0,379 | 0,546 | 0,656 | 0,504 | 0,434 |
| Madrid           | F. de Tajo  | 0,556 | 0,679 | 0,650 | 0,466 | 0,590 | 0,684 | 0,601 | 0,495 |
|                  | C.F.E.      | 0,544 | 0,668 | 0,639 | 0,456 | 0,506 | 0,638 | 0,514 | 0,468 |
|                  | Aranjuez    | 0,550 | 0,637 | 0,613 | 0,446 | 0,555 | 0,649 | 0,543 | 0,460 |
| Córdoba          | Cordoba     | 0,616 | 0,691 | 0,674 | 0,584 | 0,615 | 0,676 | 0,587 | 0,562 |
|                  | Santaella   | 0,535 | 0,702 | 0,645 | 0,501 | 0,564 | 0,718 | 0,584 | 0,545 |
|                  | Belmez      | 0,564 | 0,696 | 0,642 | 0,530 | 0,583 | 0,710 | 0,573 | 0,543 |
| Almería          | Fiñana      | 0,643 | 0,734 | 0,673 | 0,685 | 0,695 | 0,739 | 0,621 | 0,685 |
|                  | Almería     | 0,657 | 0,710 | 0,661 | 0,684 | 0,699 | 0,715 | 0,666 | 0,676 |
|                  | Tabernas    | 0,600 | 0,679 | 0,617 | 0,637 | 0,648 | 0,682 | 0,593 | 0,618 |

| Media estacional |             | 2009  |       |       |       | 2010  |       |       |       |
|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León             | B. del P.   | 0,669 | 0,693 | 0,556 | 0,467 | 0,577 | 0,649 | 0,515 | 0,414 |
|                  | Carracedelo | 0,639 | 0,680 | 0,479 | 0,400 | 0,550 | 0,632 | 0,443 | 0,346 |
|                  | Sahagun     | 0,626 | 0,650 | 0,534 | 0,408 | 0,564 | 0,649 | 0,515 | 0,385 |
| Madrid           | F. de Tajo  | 0,640 | 0,706 | 0,608 | 0,442 | 0,580 | 0,665 | 0,540 | 0,430 |
|                  | C.F.E.      | 0,611 | 0,619 | 0,605 | 0,466 | 0,557 | 0,630 | 0,550 | 0,437 |
|                  | Aranjuez    | 0,624 | 0,680 | 0,586 | 0,428 | 0,574 | 0,654 | 0,554 | 0,428 |
| Córdoba          | Cordoba     | 0,644 | 0,714 | 0,608 | 0,495 | 0,548 | 0,641 | 0,579 | 0,427 |
|                  | Santaella   | 0,628 | 0,702 | 0,655 | 0,502 | 0,599 | 0,691 | 0,578 | 0,449 |
|                  | Belmez      | 0,618 | 0,688 | 0,623 | 0,486 | 0,596 | 0,676 | 0,586 | 0,455 |
| Almería          | Fiñana      | 0,693 | 0,707 | 0,657 | 0,629 | 0,615 | 0,691 | 0,656 | 0,559 |
|                  | Almería     | 0,705 | 0,654 | 0,572 | 0,595 | 0,540 | 0,663 | 0,638 | 0,505 |
|                  | Tabernas    | 0,655 | 0,689 | 0,625 | 0,613 | 0,615 | 0,672 | 0,632 | 0,579 |



| Media estacional |             | 2011  |       |       |       | 2012  |       |       |       |
|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León             | B. del P.   | 0,540 | 0,662 | 0,533 | 0,414 | 0,575 | 0,670 | 0,511 | 0,497 |
|                  | Carracedelo | 0,534 | 0,629 | 0,490 | 0,350 | 0,498 | 0,595 | 0,464 | 0,383 |
|                  | Sahagun     | 0,559 | 0,674 | 0,535 | 0,394 | 0,568 | 0,674 | 0,455 | 0,436 |
| Madrid           | F. de Tajo  | 0,549 | 0,672 | 0,581 | 0,523 | 0,588 | 0,704 | 0,545 | 0,565 |
|                  | C.F.E.      | 0,541 | 0,647 | 0,559 | 0,509 | 0,584 | 0,669 | 0,509 | 0,538 |
|                  | Aranjuez    | 0,561 | 0,680 | 0,596 | 0,521 | 0,605 | 0,691 | 0,522 | 0,566 |
| Córdoba          | Cordoba     | 0,565 | 0,678 | 0,616 | 0,580 | 0,619 | 0,690 | 0,565 | 0,647 |
|                  | Santaella   | 0,553 | 0,679 | 0,611 | 0,580 | 0,601 | 0,684 | 0,555 | 0,628 |
|                  | Belmez      | 0,543 | 0,681 | 0,600 | 0,569 | 0,599 | 0,702 | 0,559 | 0,625 |
| Almería          | Fiñana      | 0,584 | 0,684 | 0,642 | 0,667 | 0,659 | 0,670 | 0,597 | 0,699 |
|                  | Almería     | 0,568 | 0,653 | 0,639 | 0,655 | 0,679 | 0,653 | 0,496 | 0,586 |
|                  | Tabernas    | 0,555 | 0,650 | 0,640 | 0,663 | 0,682 | 0,595 | 0,588 | 0,714 |

| Media estacional |             | 2013  |       |       |       | 2014  |       |       |       |
|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León             | B. del P.   | 0,521 | 0,665 | 0,524 | 0,437 | 0,592 | 0,664 | 0,462 | 0,420 |
|                  | Carracedelo | 0,508 | 0,654 | 0,486 | 0,360 | 0,544 | 0,601 | 0,399 | 0,310 |
|                  | Sahagun     | 0,454 | 0,649 | 0,465 | 0,391 | 0,582 | 0,659 | 0,471 | 0,360 |
| Madrid           | F. de Tajo  | 0,535 | 0,680 | 0,592 | 0,530 | 0,615 | 0,691 | 0,548 | 0,497 |
|                  | C.F.E.      | 0,530 | 0,669 | 0,554 | 0,505 | 0,604 | 0,683 | 0,537 | 0,480 |
|                  | Aranjuez    | 0,538 | 0,664 | 0,558 | 0,503 | 0,607 | 0,697 | 0,554 | 0,479 |
| Córdoba          | Cordoba     | 0,562 | 0,688 | 0,618 | 0,586 | 0,644 | 0,699 | 0,576 | 0,518 |
|                  | Santaella   | 0,552 | 0,671 | 0,636 | 0,584 | 0,627 | 0,687 | 0,577 | 0,500 |
|                  | Belmez      | 0,559 | 0,689 | 0,616 | 0,566 | 0,616 | 0,694 | 0,575 | 0,491 |
| Almería          | Fiñana      | 0,610 | 0,711 | 0,656 | 0,680 | 0,689 | 0,712 | 0,625 | 0,651 |
|                  | Almería     | 0,562 | 0,709 | 0,673 | 0,698 | 0,699 | 0,698 | 0,646 | 0,692 |
|                  | Tabernas    | 0,609 | 0,703 | 0,640 | 0,668 | 0,655 | 0,673 | 0,631 | 0,662 |

Tabla 9.4.6.1.: Media estacional de los índices de claridad horarios por provincias y estaciones.

#### 9.4.7. Anexo 4.7

| Desviación típica anual |               | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  |
|-------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>León</b>             | B. del Páramo | 0,181 | 0,190 | 0,178 | 0,178 | 0,194 |
|                         | Carracedelo   | 0,189 | 0,190 | 0,200 | 0,205 | 0,222 |
|                         | Sahagun       | 0,177 | 0,188 | 0,183 | 0,181 | 0,198 |
| <b>Madrid</b>           | F. de Tajo    | 0,156 | 0,177 | 0,181 | 0,195 | 0,187 |
|                         | C.F.E.        | 0,155 | 0,180 | 0,177 | 0,204 | 0,205 |
|                         | Aranjuez      | 0,155 | 0,183 | 0,169 | 0,172 | 0,181 |
| <b>Córdoba</b>          | Cordoba       | 0,159 | 0,180 | 0,178 | 0,173 | 0,190 |
|                         | Santaella     | 0,151 | 0,168 | 0,178 | 0,170 | 0,187 |
|                         | Belmez        | 0,166 | 0,196 | 0,177 | 0,177 | 0,179 |
| <b>Almería</b>          | Fiñana        | 0,158 | 0,180 | 0,187 | 0,186 | 0,165 |
|                         | Almería       | 0,141 | 0,158 | 0,145 | 0,152 | 0,159 |
|                         | Tabernas      | 0,153 | 0,175 | 0,168 | 0,170 | 0,159 |

| Desviación típica anual |               | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  |
|-------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>León</b>             | B. del Páramo | 0,186 | 0,195 | 0,176 | 0,183 | 0,188 |
|                         | Carracedelo   | 0,199 | 0,194 | 0,190 | 0,201 | 0,198 |
|                         | Sahagun       | 0,193 | 0,199 | 0,194 | 0,194 | 0,199 |
| <b>Madrid</b>           | F. de Tajo    | 0,201 | 0,169 | 0,174 | 0,177 | 0,171 |
|                         | C.F.E.        | 0,184 | 0,169 | 0,165 | 0,170 | 0,161 |
|                         | Aranjuez      | 0,199 | 0,169 | 0,171 | 0,171 | 0,170 |
| <b>Córdoba</b>          | Cordoba       | 0,192 | 0,160 | 0,163 | 0,176 | 0,169 |
|                         | Santaella     | 0,194 | 0,159 | 0,165 | 0,166 | 0,164 |
|                         | Belmez        | 0,197 | 0,165 | 0,169 | 0,175 | 0,168 |
| <b>Almería</b>          | Fiñana        | 0,186 | 0,169 | 0,165 | 0,158 | 0,161 |
|                         | Almería       | 0,170 | 0,145 | 0,209 | 0,171 | 0,135 |
|                         | Tabernas      | 0,176 | 0,165 | 0,180 | 0,153 | 0,138 |

Tabla 9.4.7.1.: Desviación típica anual de los índices de claridad horarios por provincias y estaciones.

#### 9.4.8. Anexo 4.8

| Desviación típica estacional |             | 2005  |       |       |       | 2006  |       |       |       |
|------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León                         | B. del P.   | 0,164 | 0,075 | 0,204 | 0,185 | 0,165 | 0,127 | 0,200 | 0,185 |
|                              | Carracedelo | 0,176 | 0,101 | 0,196 | 0,172 | 0,169 | 0,134 | 0,170 | 0,167 |
|                              | Sahagun     | 0,163 | 0,077 | 0,191 | 0,177 | 0,166 | 0,119 | 0,189 | 0,190 |
| Madrid                       | F. de Tajo  | 0,153 | 0,091 | 0,183 | 0,162 | 0,145 | 0,094 | 0,195 | 0,204 |
|                              | C.F.E.      | 0,139 | 0,085 | 0,179 | 0,151 | 0,148 | 0,094 | 0,206 | 0,177 |
|                              | Aranjuez    | 0,140 | 0,082 | 0,173 | 0,184 | 0,152 | 0,170 | 0,193 | 0,188 |
| Córdoba                      | Cordoba     | 0,171 | 0,062 | 0,164 | 0,196 | 0,182 | 0,104 | 0,202 | 0,200 |
|                              | Santaella   | 0,154 | 0,071 | 0,163 | 0,184 | 0,177 | 0,106 | 0,190 | 0,165 |
|                              | Belmez      | 0,177 | 0,086 | 0,176 | 0,193 | 0,191 | 0,113 | 0,195 | 0,228 |
| Almería                      | Fiñana      | 0,147 | 0,076 | 0,172 | 0,206 | 0,184 | 0,115 | 0,190 | 0,210 |
|                              | Almería     | 0,135 | 0,075 | 0,153 | 0,178 | 0,171 | 0,084 | 0,154 | 0,197 |
|                              | Tabernas    | 0,139 | 0,080 | 0,156 | 0,211 | 0,175 | 0,147 | 0,168 | 0,207 |

| Desviación típica estacional |             | 2007  |       |       |       | 2008  |       |       |       |
|------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León                         | B. del P.   | 0,157 | 0,118 | 0,152 | 0,190 | 0,148 | 0,112 | 0,179 | 0,194 |
|                              | Carracedelo | 0,154 | 0,163 | 0,186 | 0,153 | 0,185 | 0,126 | 0,198 | 0,190 |
|                              | Sahagun     | 0,163 | 0,120 | 0,162 | 0,185 | 0,155 | 0,106 | 0,180 | 0,196 |
| Madrid                       | F. de Tajo  | 0,177 | 0,110 | 0,136 | 0,205 | 0,171 | 0,096 | 0,228 | 0,212 |
|                              | C.F.E.      | 0,165 | 0,116 | 0,145 | 0,192 | 0,151 | 0,184 | 0,227 | 0,207 |
|                              | Aranjuez    | 0,164 | 0,112 | 0,132 | 0,190 | 0,168 | 0,089 | 0,165 | 0,197 |
| Córdoba                      | Cordoba     | 0,188 | 0,101 | 0,159 | 0,222 | 0,173 | 0,062 | 0,181 | 0,217 |
|                              | Santaella   | 0,185 | 0,093 | 0,154 | 0,187 | 0,159 | 0,058 | 0,180 | 0,192 |
|                              | Belmez      | 0,196 | 0,124 | 0,153 | 0,179 | 0,170 | 0,072 | 0,187 | 0,202 |
| Almería                      | Fiñana      | 0,198 | 0,090 | 0,195 | 0,228 | 0,171 | 0,090 | 0,212 | 0,226 |
|                              | Almería     | 0,153 | 0,057 | 0,161 | 0,174 | 0,144 | 0,069 | 0,161 | 0,203 |
|                              | Tabernas    | 0,184 | 0,074 | 0,171 | 0,205 | 0,159 | 0,088 | 0,182 | 0,215 |

| Desviación típica estacional |             | 2009  |       |       |       | 2010  |       |       |       |
|------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León                         | B. del P.   | 0,150 | 0,124 | 0,197 | 0,206 | 0,184 | 0,119 | 0,157 | 0,191 |
|                              | Carracedelo | 0,177 | 0,162 | 0,215 | 0,204 | 0,180 | 0,139 | 0,171 | 0,176 |
|                              | Sahagun     | 0,155 | 0,124 | 0,190 | 0,215 | 0,181 | 0,127 | 0,172 | 0,186 |
| Madrid                       | F. de Tajo  | 0,164 | 0,086 | 0,149 | 0,217 | 0,183 | 0,131 | 0,199 | 0,209 |
|                              | C.F.E.      | 0,208 | 0,204 | 0,153 | 0,213 | 0,177 | 0,121 | 0,167 | 0,210 |
|                              | Aranjuez    | 0,157 | 0,082 | 0,144 | 0,211 | 0,187 | 0,135 | 0,196 | 0,204 |
| Córdoba                      | Cordoba     | 0,190 | 0,083 | 0,152 | 0,234 | 0,182 | 0,103 | 0,192 | 0,211 |
|                              | Santaella   | 0,185 | 0,083 | 0,154 | 0,235 | 0,173 | 0,107 | 0,203 | 0,198 |
|                              | Belmez      | 0,175 | 0,086 | 0,156 | 0,215 | 0,188 | 0,126 | 0,192 | 0,209 |
| Almería                      | Fiñana      | 0,163 | 0,102 | 0,156 | 0,213 | 0,200 | 0,114 | 0,177 | 0,215 |
|                              | Almería     | 0,139 | 0,068 | 0,135 | 0,224 | 0,168 | 0,079 | 0,168 | 0,191 |
|                              | Tabernas    | 0,155 | 0,070 | 0,154 | 0,215 | 0,172 | 0,100 | 0,187 | 0,215 |

| Desviación típica estacional |             | 2011  |       |       |       | 2012  |       |       |       |
|------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León                         | B. del P.   | 0,172 | 0,119 | 0,195 | 0,201 | 0,169 | 0,099 | 0,182 | 0,186 |
|                              | Carracedelo | 0,171 | 0,127 | 0,183 | 0,178 | 0,176 | 0,150 | 0,176 | 0,197 |
|                              | Sahagun     | 0,174 | 0,117 | 0,195 | 0,196 | 0,182 | 0,089 | 0,186 | 0,197 |
| Madrid                       | F. de Tajo  | 0,174 | 0,075 | 0,168 | 0,196 | 0,155 | 0,085 | 0,205 | 0,185 |
|                              | C.F.E.      | 0,181 | 0,090 | 0,170 | 0,187 | 0,153 | 0,077 | 0,184 | 0,180 |
|                              | Aranjuez    | 0,174 | 0,077 | 0,164 | 0,197 | 0,157 | 0,072 | 0,192 | 0,188 |
| Córdoba                      | Cordoba     | 0,183 | 0,074 | 0,152 | 0,184 | 0,151 | 0,064 | 0,198 | 0,183 |
|                              | Santaella   | 0,183 | 0,073 | 0,153 | 0,176 | 0,160 | 0,058 | 0,196 | 0,184 |
|                              | Belmez      | 0,182 | 0,095 | 0,169 | 0,167 | 0,161 | 0,069 | 0,196 | 0,188 |
| Almería                      | Fiñana      | 0,197 | 0,096 | 0,169 | 0,180 | 0,145 | 0,129 | 0,210 | 0,150 |
|                              | Almería     | 0,150 | 0,072 | 0,156 | 0,168 | 0,101 | 0,068 | 0,262 | 0,271 |
|                              | Tabernas    | 0,180 | 0,094 | 0,162 | 0,190 | 0,114 | 0,209 | 0,205 | 0,144 |

| Desviación típica estacional |             | 2013  |       |       |       | 2014  |       |       |       |
|------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              |             | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   | Pri   | Ver   | Oto   | Inv   |
| León                         | B. del P.   | 0,184 | 0,104 | 0,172 | 0,186 | 0,158 | 0,111 | 0,186 | 0,179 |
|                              | Carracedelo | 0,203 | 0,117 | 0,190 | 0,170 | 0,191 | 0,137 | 0,173 | 0,139 |
|                              | Sahagun     | 0,183 | 0,124 | 0,185 | 0,178 | 0,171 | 0,111 | 0,192 | 0,172 |
| Madrid                       | F. de Tajo  | 0,181 | 0,089 | 0,175 | 0,203 | 0,153 | 0,075 | 0,166 | 0,199 |
|                              | C.F.E.      | 0,177 | 0,091 | 0,161 | 0,187 | 0,142 | 0,085 | 0,149 | 0,180 |
|                              | Aranjuez    | 0,185 | 0,086 | 0,165 | 0,186 | 0,149 | 0,088 | 0,159 | 0,189 |
| Córdoba                      | Cordoba     | 0,189 | 0,081 | 0,140 | 0,234 | 0,153 | 0,078 | 0,148 | 0,215 |
|                              | Santaella   | 0,178 | 0,074 | 0,141 | 0,214 | 0,166 | 0,066 | 0,147 | 0,189 |
|                              | Belmez      | 0,181 | 0,097 | 0,156 | 0,216 | 0,169 | 0,077 | 0,142 | 0,196 |
| Almería                      | Fiñana      | 0,176 | 0,091 | 0,140 | 0,189 | 0,146 | 0,096 | 0,180 | 0,192 |
|                              | Almería     | 0,242 | 0,056 | 0,127 | 0,162 | 0,117 | 0,061 | 0,155 | 0,174 |
|                              | Tabernas    | 0,179 | 0,076 | 0,131 | 0,187 | 0,124 | 0,059 | 0,149 | 0,187 |

Tabla 9.4.8.1.: Desviación típica estacional de los índices de claridad horarios por provincias y estaciones.

## 9.5. Anexo 5

### 9.5.1. Anexo 5.1

|      |               |                 | ENE     | FEB     | MAR     | ABR    | MAY     | JUN     |
|------|---------------|-----------------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|
| León | B. del Páramo | $\beta_0$       | 3,84    | 3,88    | 6,49    | 8,19   | 11,18   | 15,19   |
|      |               | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0059  | 0,0077  | 0,0089  | 0,0081 | 0,0094  | 0,0112  |
|      |               | $\beta_2 (t-1)$ | 0,0022  | 0,0023  | 0,0008  | 0,0017 | 0,0001  | -0,0018 |
|      |               |                 |         |         |         |        |         |         |
|      | Carracedelo   | $\beta_0$       | 5,45    | 6,12    | 8,49    | 9,48   | 12,58   | 16,24   |
|      |               | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0134  | 0,0161  | 0,0152  | 0,0127 | 0,0120  | 0,0127  |
|      |               | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0034 | -0,0043 | -0,0031 | 0,0008 | -0,0002 | -0,0011 |
|      |               |                 |         |         |         |        |         |         |
|      | Sahagún       | $\beta_0$       | 4,06    | 3,93    | 6,61    | 8,18   | 10,98   | 15,70   |
|      |               | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0051  | 0,0085  | 0,0095  | 0,0091 | 0,0099  | 0,0112  |
|      |               | $\beta_2 (t-1)$ | 0,0007  | 0,0018  | 0,0005  | 0,0016 | 0,0007  | -0,0011 |

|      |               |                 | JUL     | AGO     | SEP     | OCT     | NOV    | DIC     |
|------|---------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
| León | B. del Páramo | $\beta_0$       | 17,63   | 17,55   | 14,68   | 11,60   | 6,13   | 3,45    |
|      |               | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0123  | 0,0123  | 0,0115  | 0,0088  | 0,0071 | 0,0061  |
|      |               | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0039 | -0,0037 | -0,0003 | 0,0036  | 0,0050 | 0,0057  |
|      |               |                 |         |         |         |         |        |         |
|      | Carracedelo   | $\beta_0$       | 18,58   | 18,72   | 16,18   | 12,64   | 6,72   | 5,07    |
|      |               | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0138  | 0,0158  | 0,0177  | 0,0176  | 0,0156 | 0,0134  |
|      |               | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0028 | -0,0043 | -0,0037 | -0,0038 | 0,0000 | -0,0047 |
|      |               |                 |         |         |         |         |        |         |
|      | Sahagún       | $\beta_0$       | 19,04   | 19,10   | 15,62   | 11,86   | 7,20   | 2,94    |
|      |               | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0135  | 0,0138  | 0,0125  | 0,0118  | 0,0079 | 0,0099  |
|      |               | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0044 | -0,0044 | -0,0004 | 0,0008  | 0,0020 | 0,0020  |

Tabla 9.5.1.1.: Coeficientes de estimación, mensuales, de la temperatura en función de la irradiancia una y dos horas antes, para las estaciones de León.

|        |            |                 | ENE     | FEB     | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     |
|--------|------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Madrid | Aranjuez   | $\beta_0$       | 6,40    | 7,36    | 9,94    | 11,58   | 15,83   | 20,60   |
|        |            | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0139  | 0,0129  | 0,0121  | 0,0121  | 0,0121  | 0,0144  |
|        |            | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0033 | -0,0024 | -0,0012 | 0,0003  | -0,0004 | -0,0028 |
|        |            |                 |         |         |         |         |         |         |
|        | C. F. E.   | $\beta_0$       | 6,11    | 7,42    | 9,80    | 12,00   | 16,31   | 20,73   |
|        |            | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0132  | 0,0117  | 0,0127  | 0,0111  | 0,0113  | 0,0140  |
|        |            | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0029 | -0,0030 | -0,0028 | -0,0011 | -0,0028 | -0,0052 |
|        |            |                 |         |         |         |         |         |         |
|        | F. de Tajo | $\beta_0$       | 6,02    | 6,43    | 9,53    | 10,84   | 15,34   | 20,72   |
|        |            | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0132  | 0,0122  | 0,0113  | 0,0112  | 0,0111  | 0,0125  |
|        |            | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0022 | -0,0002 | -0,0003 | 0,0017  | 0,0003  | -0,0018 |

|        |            |                 | JUL     | AGO     | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
|--------|------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Madrid | Aranjuez   | $\beta_0$       | 24,79   | 24,91   | 19,68   | 15,31   | 10,10   | 6,69    |
|        |            | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0164  | 0,0160  | 0,0155  | 0,0155  | 0,0121  | 0,0139  |
|        |            | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0060 | -0,0055 | -0,0022 | -0,0017 | -0,0004 | -0,0044 |
|        |            |                 |         |         |         |         |         |         |
|        | C. F. E.   | $\beta_0$       | 24,75   | 24,94   | 19,71   | 14,76   | 9,84    | 6,82    |
|        |            | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0156  | 0,0158  | 0,0143  | 0,0146  | 0,0115  | 0,0139  |
|        |            | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0084 | -0,0085 | -0,0038 | -0,0025 | -0,0008 | -0,0055 |
|        |            |                 |         |         |         |         |         |         |
|        | F. de Tajo | $\beta_0$       | 25,23   | 25,15   | 19,45   | 15,36   | 10,27   | 6,03    |
|        |            | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0146  | 0,0142  | 0,0140  | 0,0140  | 0,0111  | 0,0139  |
|        |            | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0052 | -0,0044 | -0,0010 | -0,0009 | -0,0006 | -0,0031 |

Tabla 9.5.1.2.: Coeficientes de estimación, mensuales, de la temperatura en función de la irradiancia una y dos horas antes, para las estaciones de Madrid.



|         |           |                 | ENE     | FEB     | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     |
|---------|-----------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Córdoba | Belmez    | $\beta_0$       | 7,40    | 8,20    | 10,70   | 12,11   | 15,86   | 21,37   |
|         |           | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0123  | 0,0097  | 0,0094  | 0,0099  | 0,0105  | 0,0123  |
|         |           | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0023 | -0,0008 | -0,0007 | 0,0006  | 0,0000  | -0,0023 |
|         |           |                 |         |         |         |         |         |         |
|         | Córdoba   | $\beta_0$       | 9,24    | 10,38   | 12,79   | 15,01   | 18,68   | 23,26   |
|         |           | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0145  | 0,0127  | 0,0122  | 0,0114  | 0,0131  | 0,0170  |
|         |           | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0052 | -0,0042 | -0,0033 | -0,0022 | -0,0042 | -0,0084 |
|         |           |                 |         |         |         |         |         |         |
|         | Santaella | $\beta_0$       | 10,17   | 10,98   | 12,27   | 14,15   | 17,56   | 22,13   |
|         |           | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0108  | 0,0091  | 0,0097  | 0,0103  | 0,0117  | 0,0137  |
|         |           | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0030 | -0,0018 | 0,0002  | 0,0007  | -0,0006 | -0,0032 |

|         |           |                 | JUL     | AGO     | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
|---------|-----------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Córdoba | Belmez    | $\beta_0$       | 25,90   | 25,75   | 20,59   | 15,90   | 10,67   | 8,15    |
|         |           | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0148  | 0,0144  | 0,0117  | 0,0119  | 0,0109  | 0,0127  |
|         |           | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0066 | -0,0055 | -0,0008 | 0,0008  | 0,0002  | -0,0036 |
|         |           |                 |         |         |         |         |         |         |
|         | Córdoba   | $\beta_0$       | 26,82   | 26,91   | 22,58   | 18,45   | 12,77   | 10,57   |
|         |           | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0212  | 0,0201  | 0,0162  | 0,0156  | 0,0141  | 0,0152  |
|         |           | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0132 | -0,0115 | -0,0066 | -0,0049 | -0,0041 | -0,0085 |
|         |           |                 |         |         |         |         |         |         |
|         | Santaella | $\beta_0$       | 25,83   | 26,32   | 21,62   | 18,10   | 12,94   | 11,28   |
|         |           | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0182  | 0,0173  | 0,0136  | 0,0129  | 0,0112  | 0,0106  |
|         |           | $\beta_2 (t-1)$ | -0,0084 | -0,0074 | -0,0020 | -0,0006 | -0,0007 | -0,0047 |

Tabla 9.5.1.3.: Coeficientes de estimación, mensuales, de la temperatura en función de la irradiancia una y dos horas antes, para las estaciones de Córdoba.

|         |          |                 | ENE    | FEB    | MAR    | ABR    | MAY    | JUN    |
|---------|----------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Almería | Almería  | $\beta_0$       | 13,92  | 14,15  | 15,21  | 17,73  | 20,24  | 23,11  |
|         |          | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0002 | 0,0002 | 0,0009 | 0,0001 | 0,0005 | 0,0004 |
|         |          | $\beta_2 (t-1)$ | 0,0047 | 0,0039 | 0,0038 | 0,0033 | 0,0029 | 0,0032 |
|         |          |                 |        |        |        |        |        |        |
|         | Fiñana   | $\beta_0$       | 6,25   | 6,75   | 9,13   | 11,25  | 15,83  | 20,50  |
|         |          | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0044 | 0,0042 | 0,0051 | 0,0051 | 0,0047 | 0,0047 |
|         |          | $\beta_2 (t-1)$ | 0,0065 | 0,0041 | 0,0030 | 0,0037 | 0,0027 | 0,0025 |
|         |          |                 |        |        |        |        |        |        |
|         | Tabernas | $\beta_0$       | 9,55   | 10,13  | 11,89  | 14,34  | 17,95  | 21,83  |
|         |          | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0045 | 0,0025 | 0,0040 | 0,0043 | 0,0040 | 0,0044 |
|         |          | $\beta_2 (t-1)$ | 0,0068 | 0,0068 | 0,0050 | 0,0043 | 0,0038 | 0,0037 |

|         |          |                 | JUL    | AGO     | SEP    | OCT     | NOV     | DIC    |
|---------|----------|-----------------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|
| Almería | Almería  | $\beta_0$       | 25,86  | 26,99   | 24,18  | 21,15   | 17,92   | 15,04  |
|         |          | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0000 | -0,0005 | 0,0002 | -0,0001 | -0,0005 | 0,0000 |
|         |          | $\beta_2 (t-1)$ | 0,0037 | 0,0040  | 0,0043 | 0,0052  | 0,0042  | 0,0047 |
|         |          |                 |        |         |        |         |         |        |
|         | Fiñana   | $\beta_0$       | 24,26  | 24,26   | 18,82  | 15,12   | 10,25   | 7,59   |
|         |          | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0049 | 0,0043  | 0,0051 | 0,0053  | 0,0039  | 0,0034 |
|         |          | $\beta_2 (t-1)$ | 0,0022 | 0,0027  | 0,0040 | 0,0051  | 0,0050  | 0,0061 |
|         |          |                 |        |         |        |         |         |        |
|         | Tabernas | $\beta_0$       | 24,93  | 24,62   | 20,87  | 17,44   | 12,93   | 10,46  |
|         |          | $\beta_1 (t-2)$ | 0,0043 | 0,0043  | 0,0046 | 0,0046  | 0,0040  | 0,0043 |
|         |          | $\beta_2 (t-1)$ | 0,0037 | 0,0043  | 0,0048 | 0,0062  | 0,0062  | 0,0056 |

Tabla 9.5.1.4.: Coeficientes de estimación, mensuales, de la temperatura en función de la irradiancia una y dos horas antes, para las estaciones de Almería.

### 9.5.2. Anexo 5.2

|         |                 | ENE     | FEB     | MAR     | ABR     | MAY     | JUN     |
|---------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Almería | $\beta_0$       | 12,52   | 13,07   | 14,20   | 16,17   | 18,93   | 22,03   |
|         | $\beta_1 (t-1)$ | 0,0060  | 0,0047  | 0,0041  | 0,0038  | 0,0030  | 0,0027  |
|         | $\beta_2 (t-2)$ | 0,0033  | 0,0027  | 0,0033  | 0,0032  | 0,0034  | 0,0037  |
|         | $\beta_3 (Alt)$ | -0,0057 | -0,0059 | -0,0047 | -0,0038 | -0,0023 | -0,0005 |

|         |                 | JUL    | AGO     | SEP     | OCT     | NOV     | DIC     |
|---------|-----------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Almería | $\beta_0$       | 24,87  | 25,57   | 22,63   | 19,79   | 16,34   | 13,66   |
|         | $\beta_1 (t-1)$ | 0,0024 | 0,0031  | 0,0045  | 0,0055  | 0,0046  | 0,0047  |
|         | $\beta_2 (t-2)$ | 0,0038 | 0,0034  | 0,0034  | 0,0032  | 0,0036  | 0,0040  |
|         | $\beta_3 (Alt)$ | 0,0003 | -0,0009 | -0,0031 | -0,0039 | -0,0060 | -0,0060 |

Tabla 9.5.2.1.: Coeficientes de estimación, mensuales, de la temperatura en función de la irradiancia una y dos horas antes, para el conjunto de las estaciones de Almería.

## 9.6. Anexo 6

### 9.6.1. Anexo 6.1

Carracedelo:

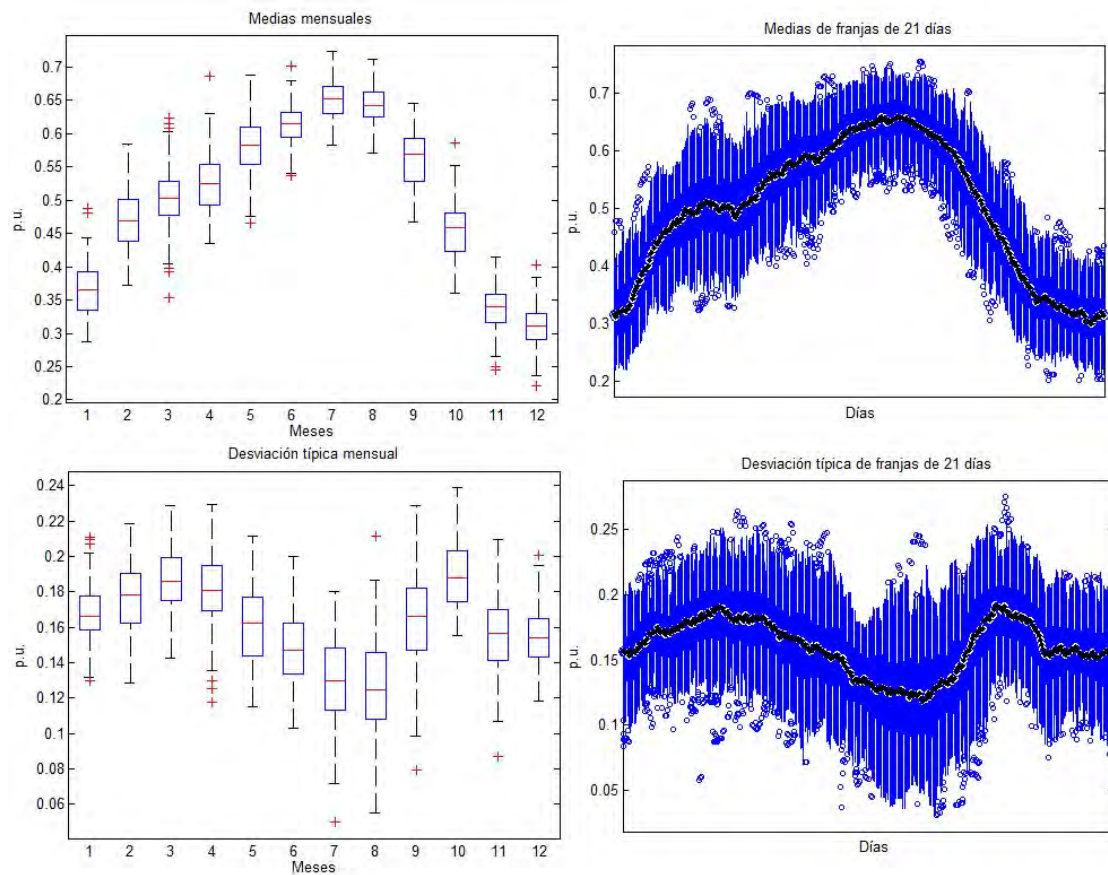


Figura 9.6.1.1.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Carracedelo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Saguhún:

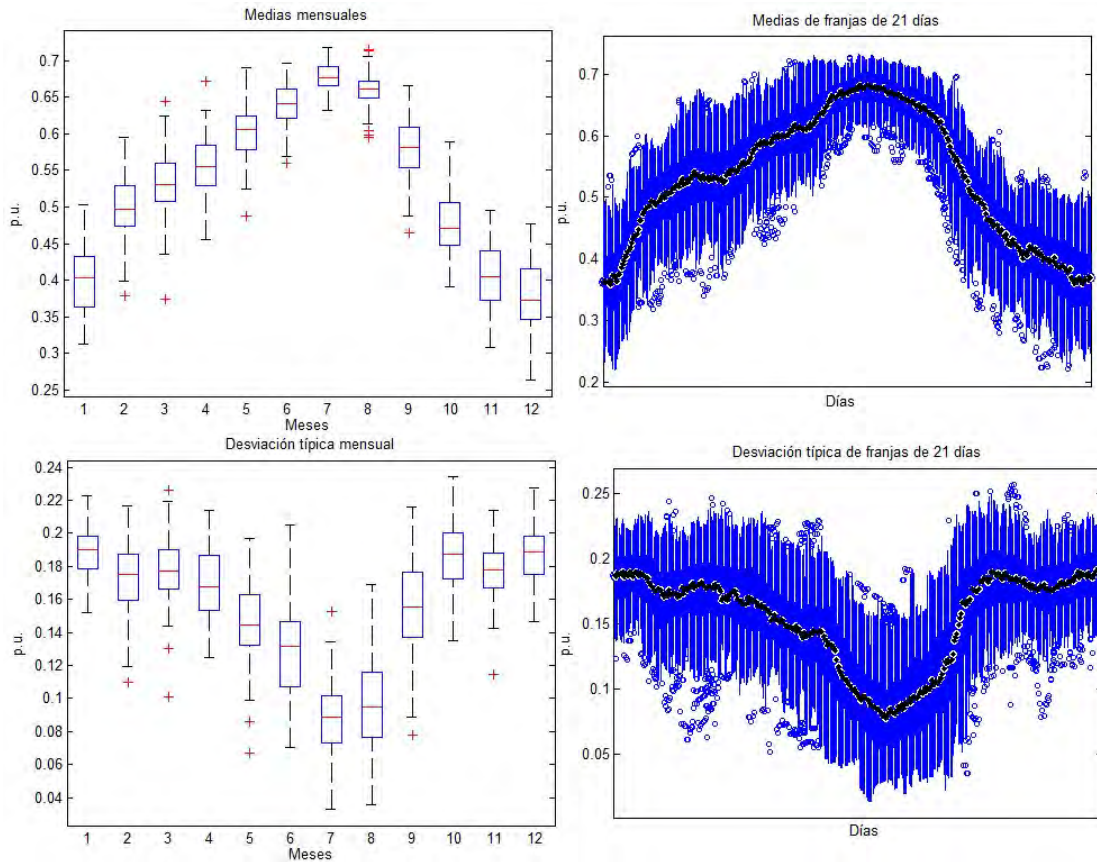


Figura 9.6.1.2.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Saguhún, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Aunque no son iguales sí que son muy similares en forma y valor las medias y desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de las tres estaciones de la provincia de León. Esto significa que a pesar de sus discrepancias climáticas la tendencia de los valores de los índices de claridad a lo largo del año es la misma.

**Madrid:**

Aranjuez:

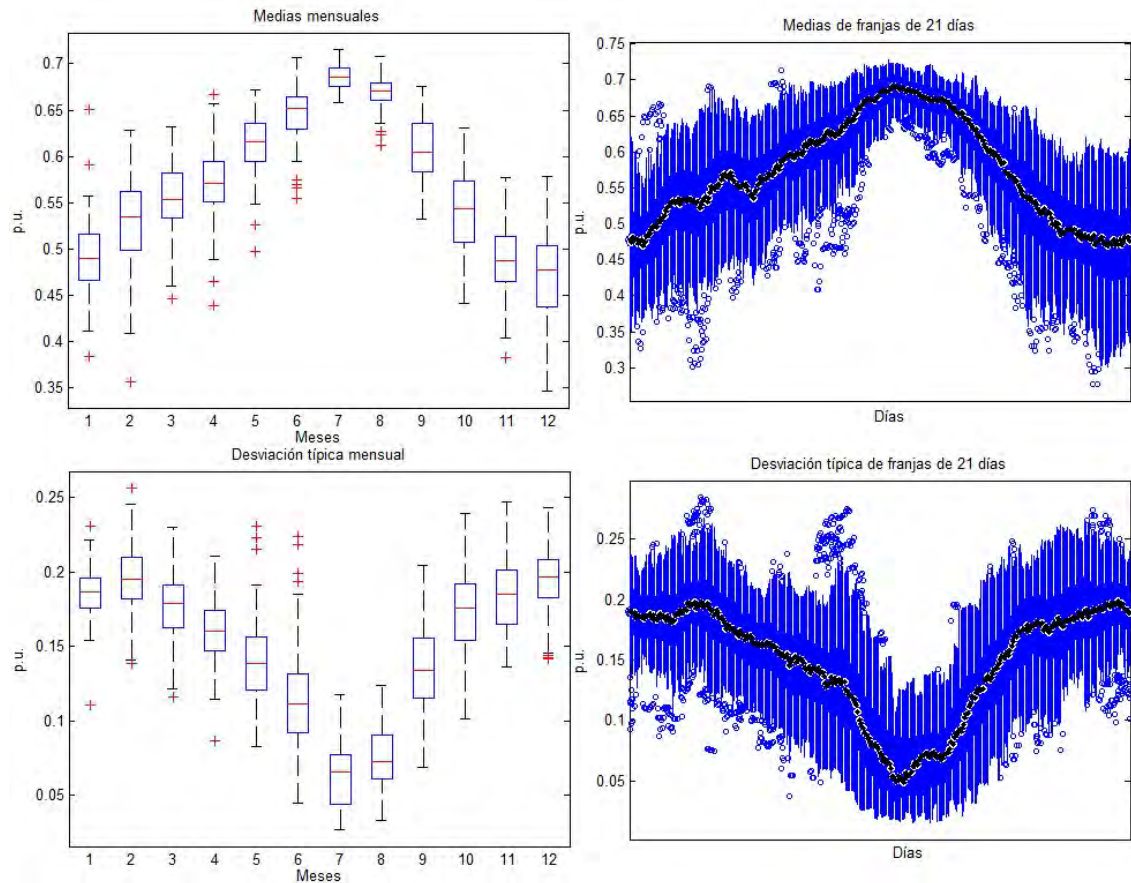


Figura 9.6.1.3.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Aranjuez, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

### C. Finca Experimental:

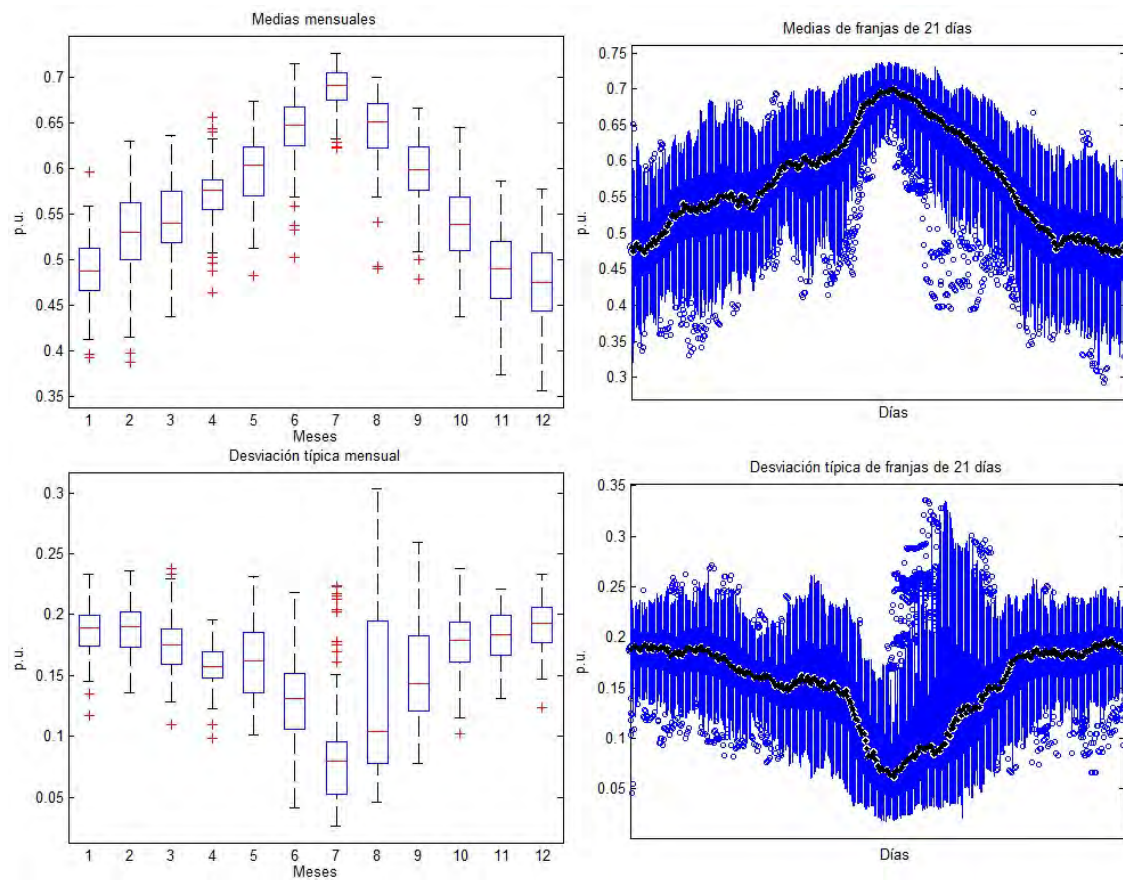


Figura 9.6.1.4.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de C. Finca Experimental, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



## Fuentidueña de Tajo:

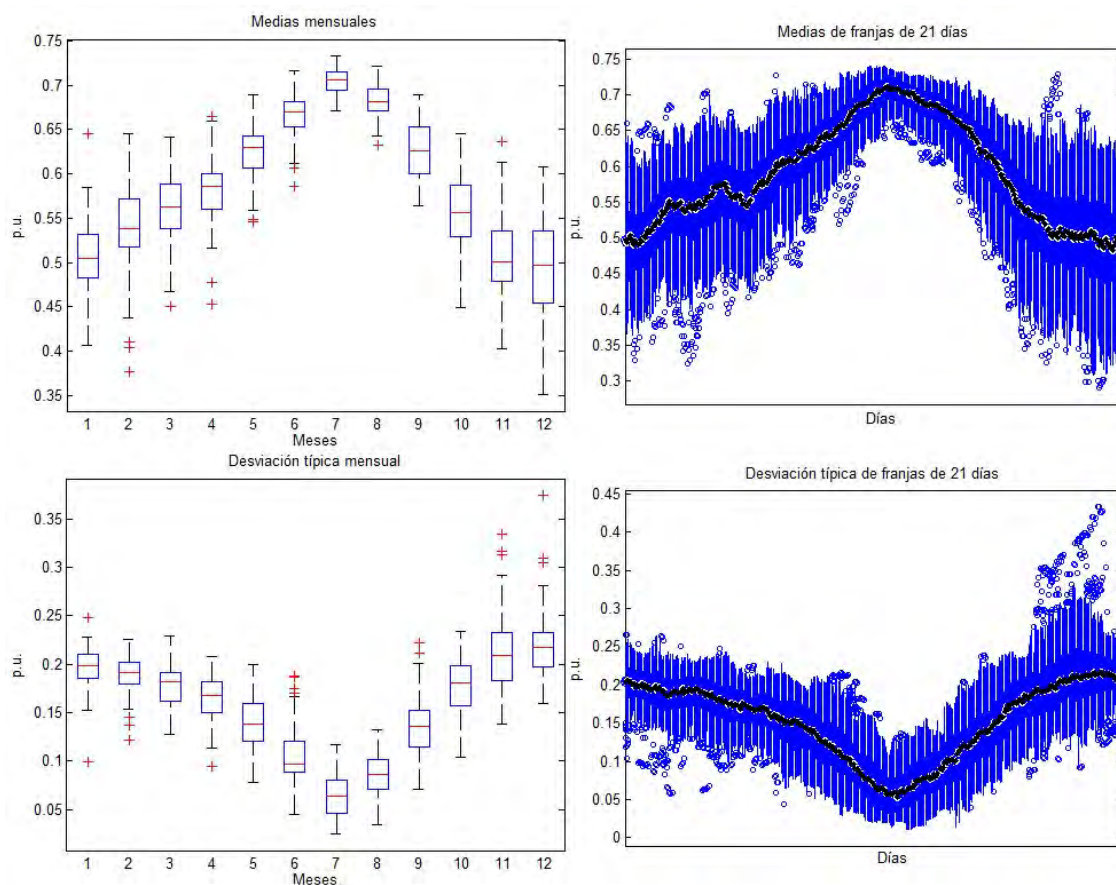
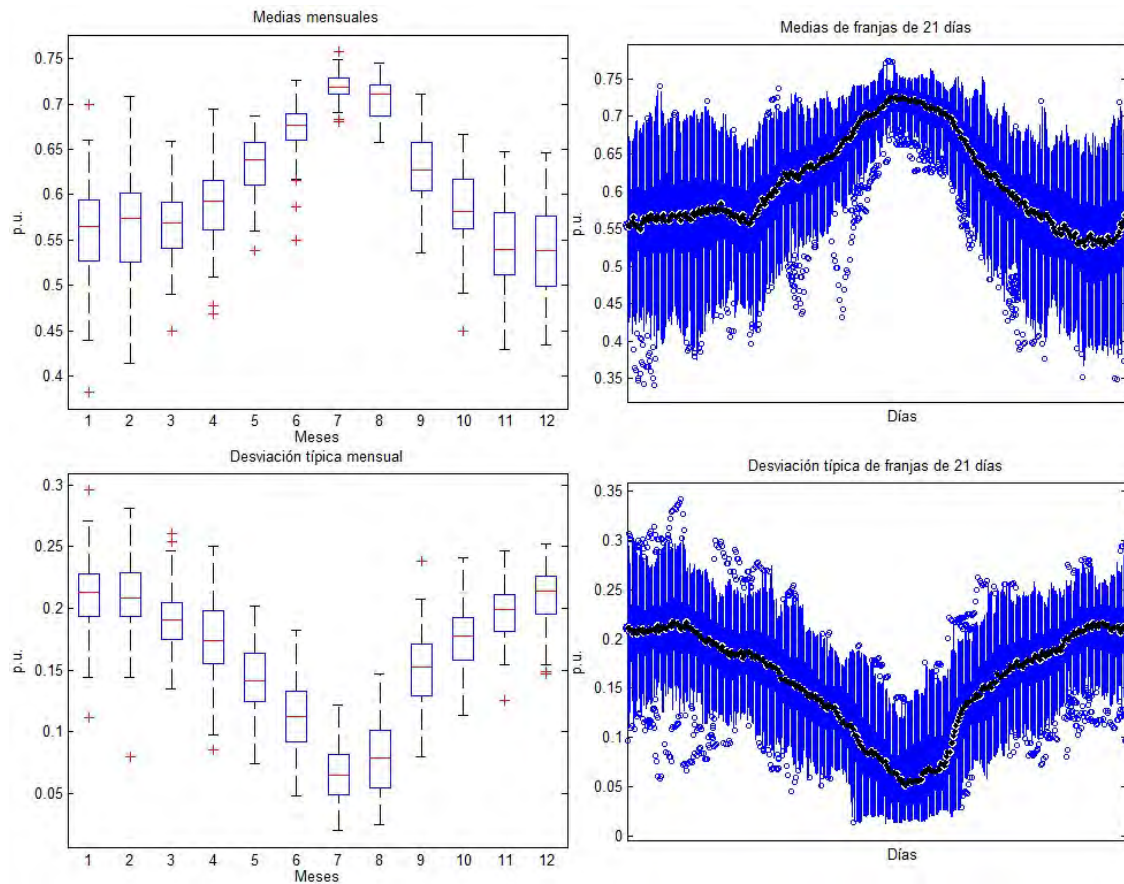


Figura 9.6.1.5.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Fuentidueña de Tajo, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Nuevamente, aunque no son iguales, sí que son muy similares en forma y valor las medias y desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de las tres estaciones de la provincia de Madrid. Pero si los comparamos con las gráficas de León sí que hay una marcada diferencia.

**Córdoba:**

**Belmez:**



*Figura 9.6.1.6.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Belmez, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.*

Córdoba:

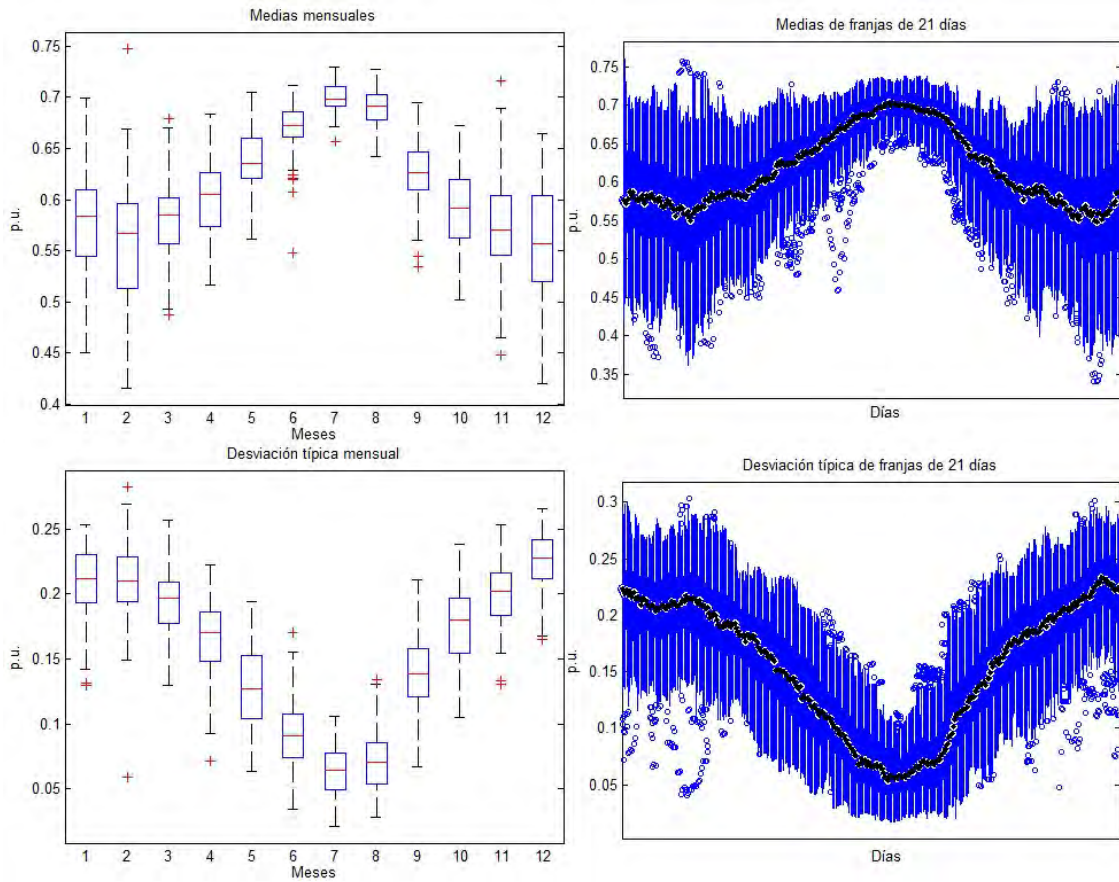


Figura 9.6.1.7.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Córdoba, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Santaella:

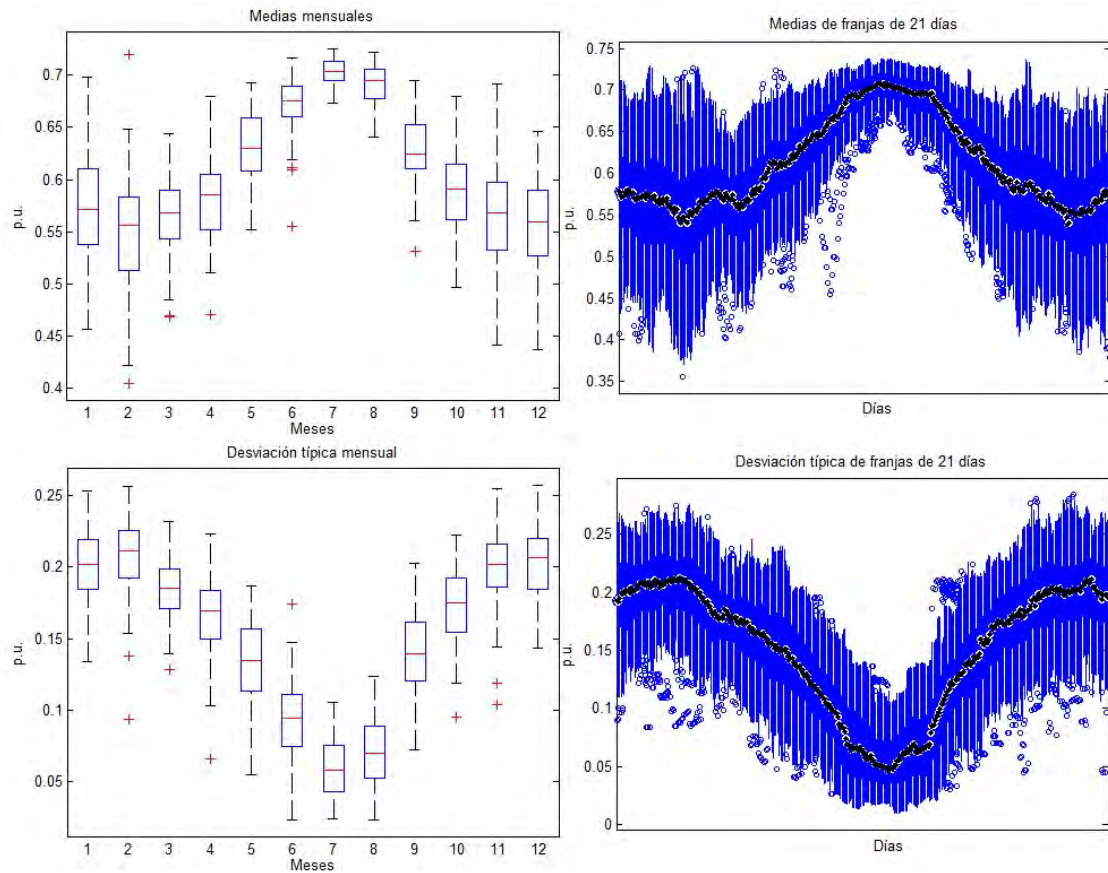


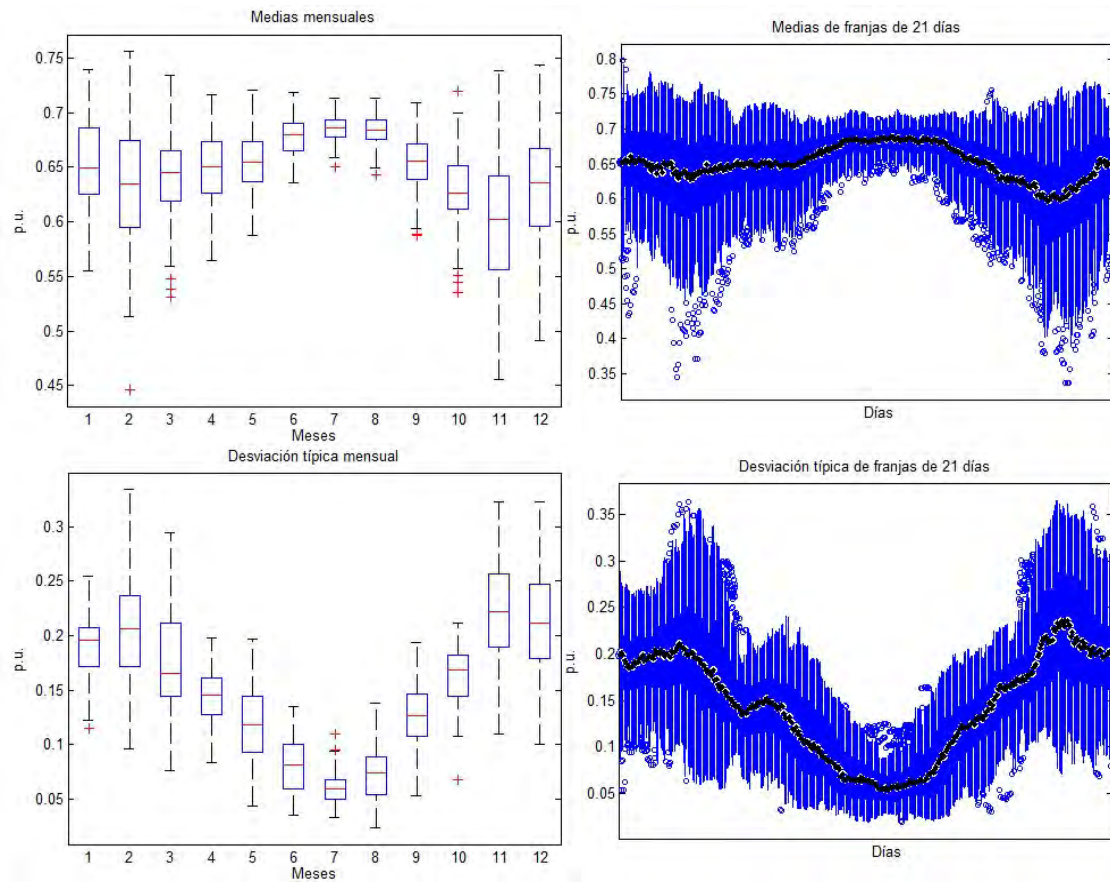
Figura 9.6.1.8.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Una vez más las medias y desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de las tres estaciones de la provincia de Córdoba son muy similares en forma y valor. Pero si los comparamos con las gráficas de León o Madrid sí que hay una marcada diferencia.



**Almería:**

Almería:



*Figura 9.6.1.9.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Almería, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.*

Esta estación presenta una curva de las medias de franjas de veintiún días de los índices de claridad de los cien años sintéticos especialmente aplanada. Este hecho se debe muy probablemente a la proximidad al mar e indica que es la ubicación donde es más probable esperar una cantidad de recurso solar medio más constante.

Fiñana:

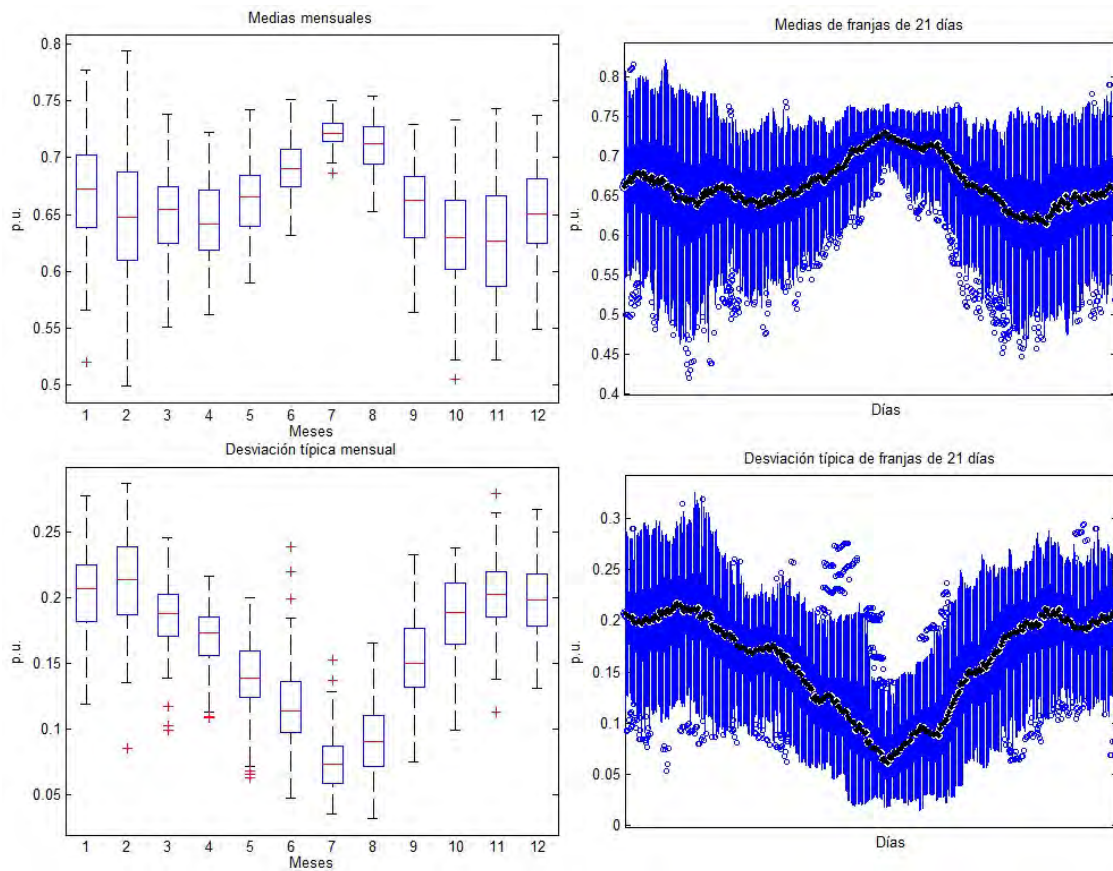


Figura 9.6.1.10.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Fiñana, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Tabernas:

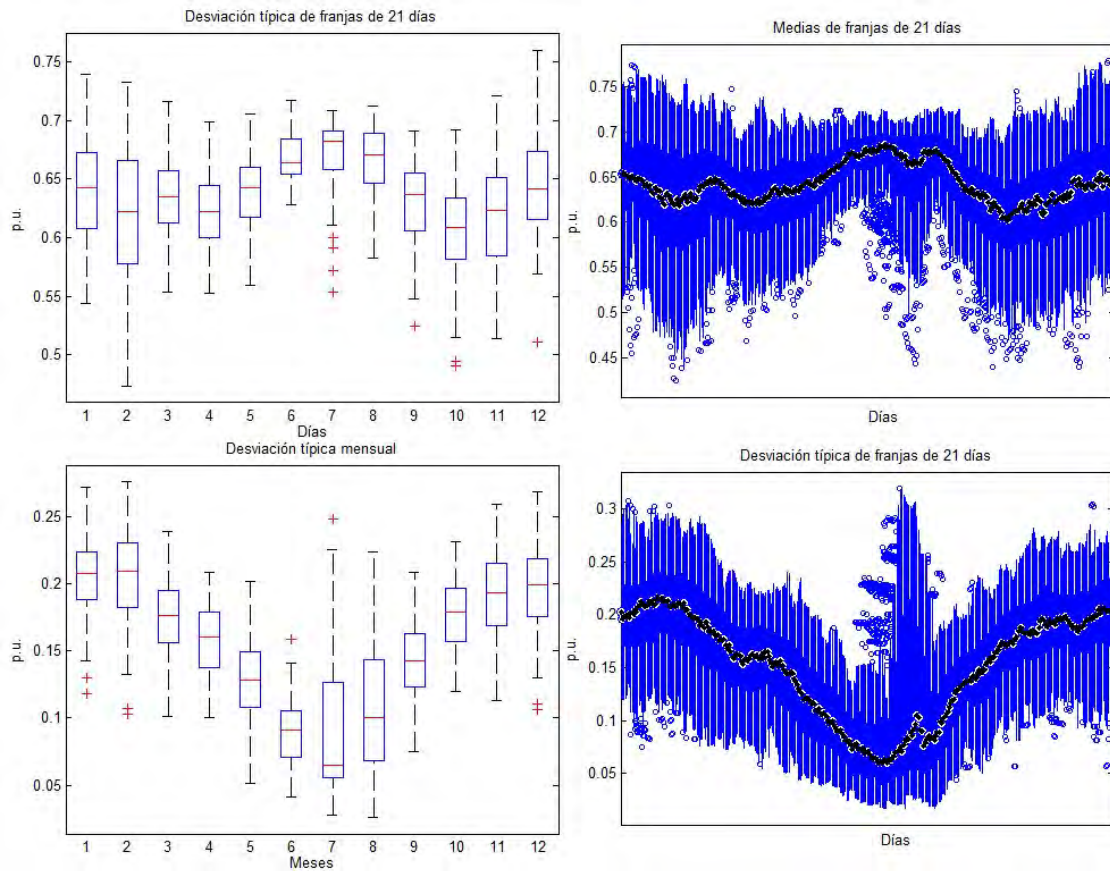


Figura 9.6.1.11.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios de Tabernas, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Esta es sin duda la provincia cuyas gráficas de medias y desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos horarios presentan una mayor diferencia de forma. Pero todas las estaciones de la provincia de Almería comparten la tendencia de que la gráfica de medias de franjas de veintiún días sea mucho más aplanada que las del resto de las estaciones.



Gráficas de los resultados aplicando el MBB1 a las series de datos de los índices de claridad diarios:

**León:**

Bustillo del Páramo:

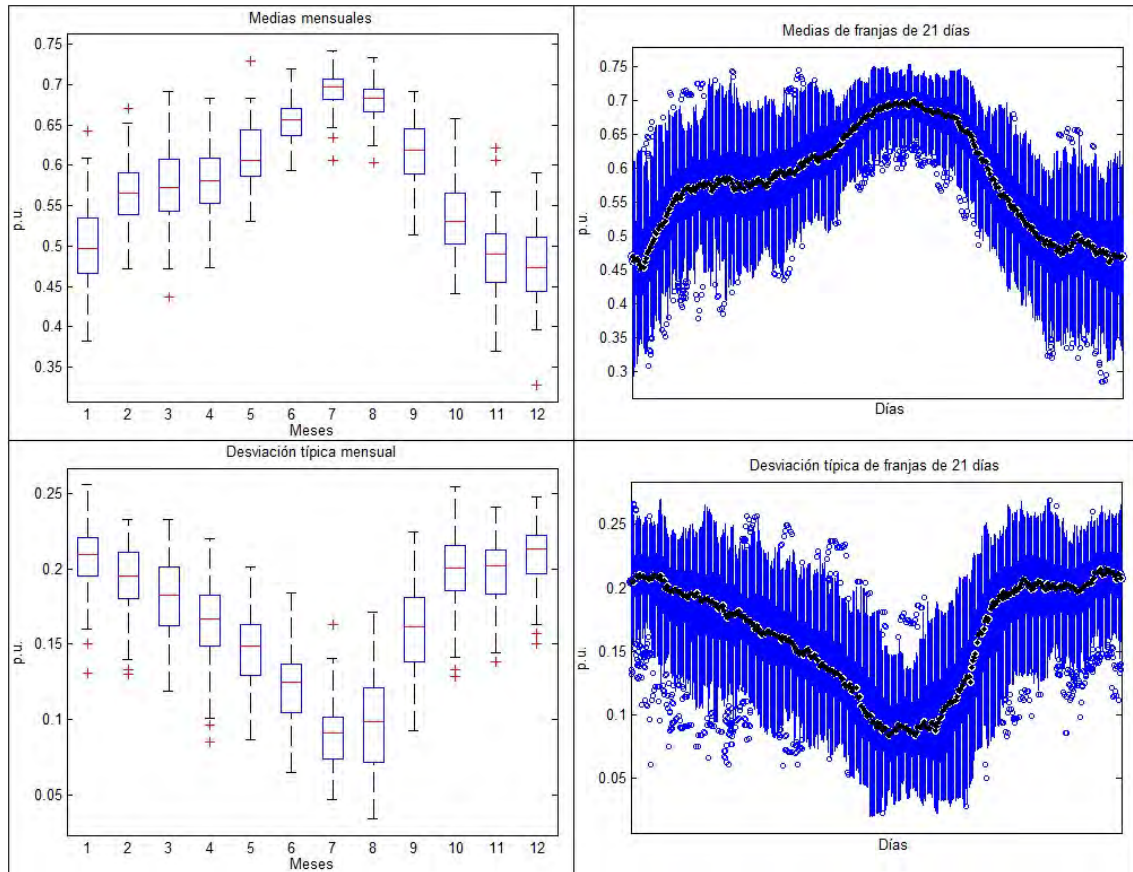


Figura 9.6.1.12.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Bustillo del Páramo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Carracedelo:

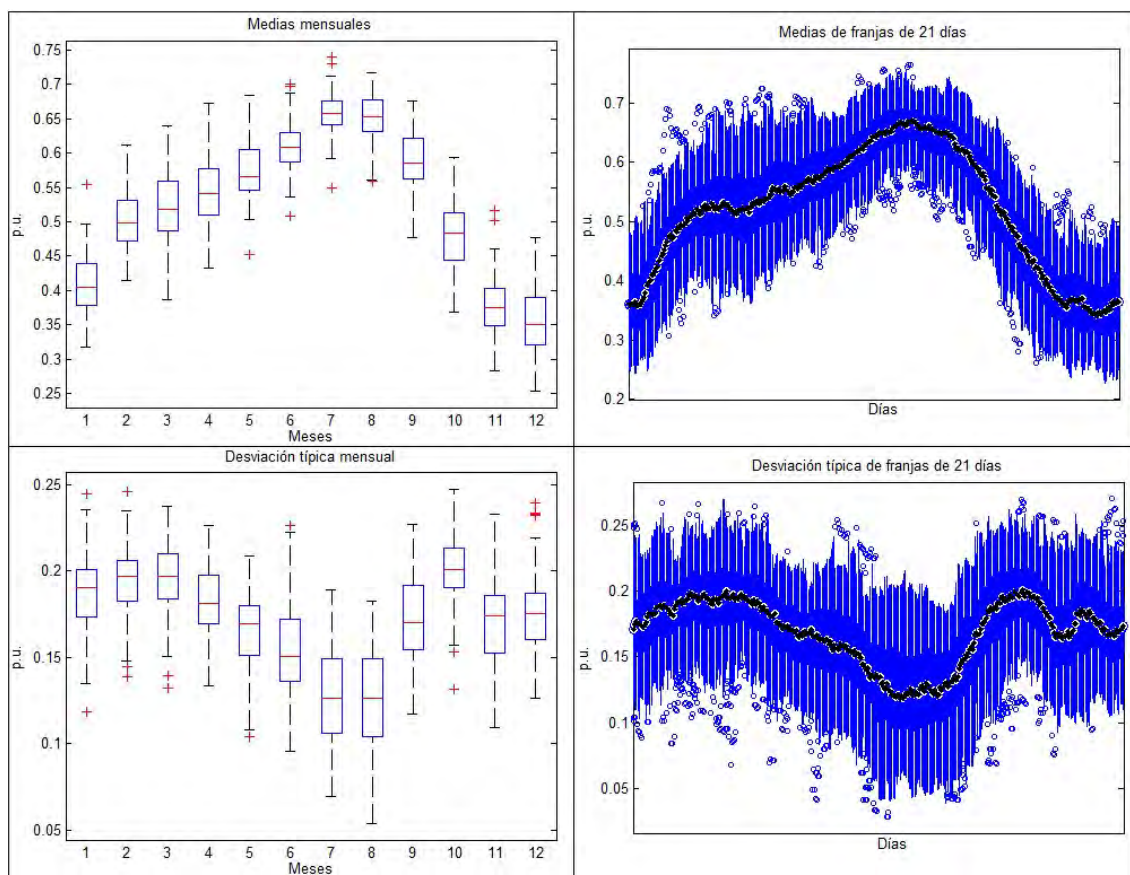


Figura 9.6.1.13.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Carracedelo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Saguhún:

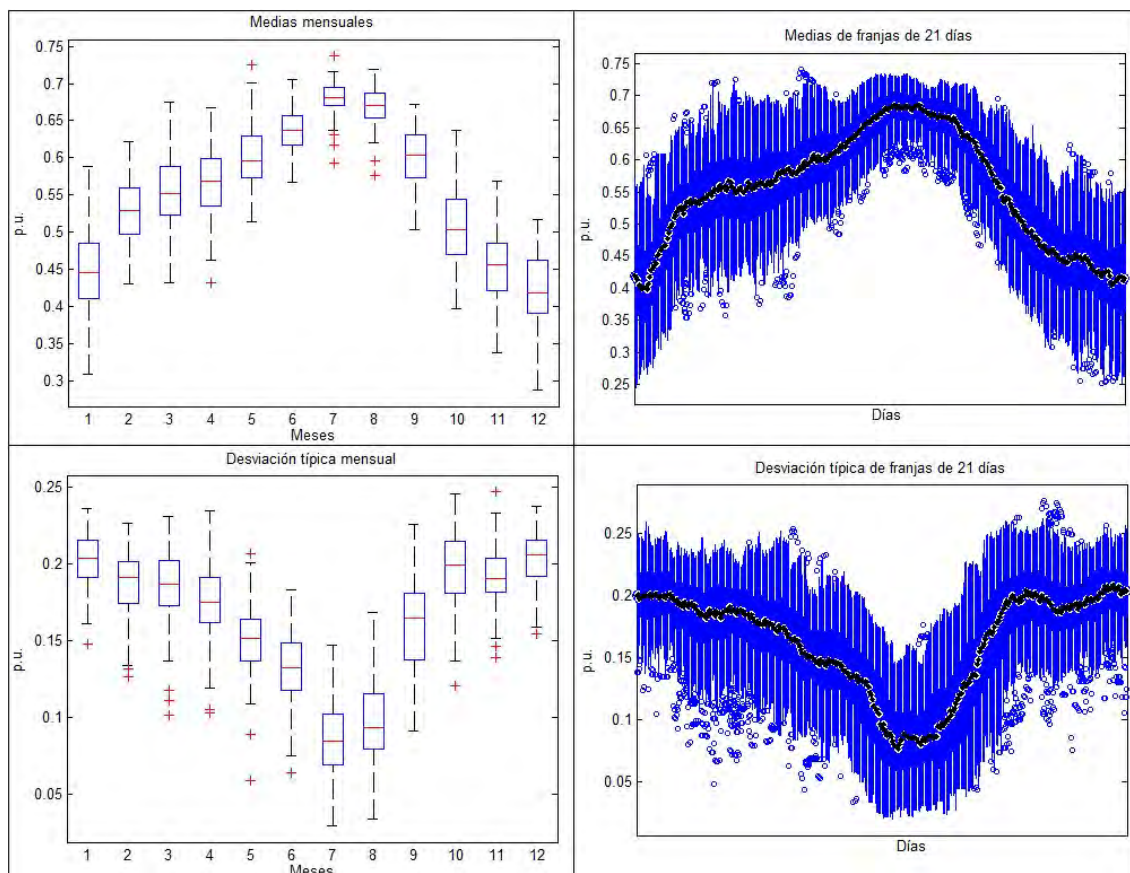
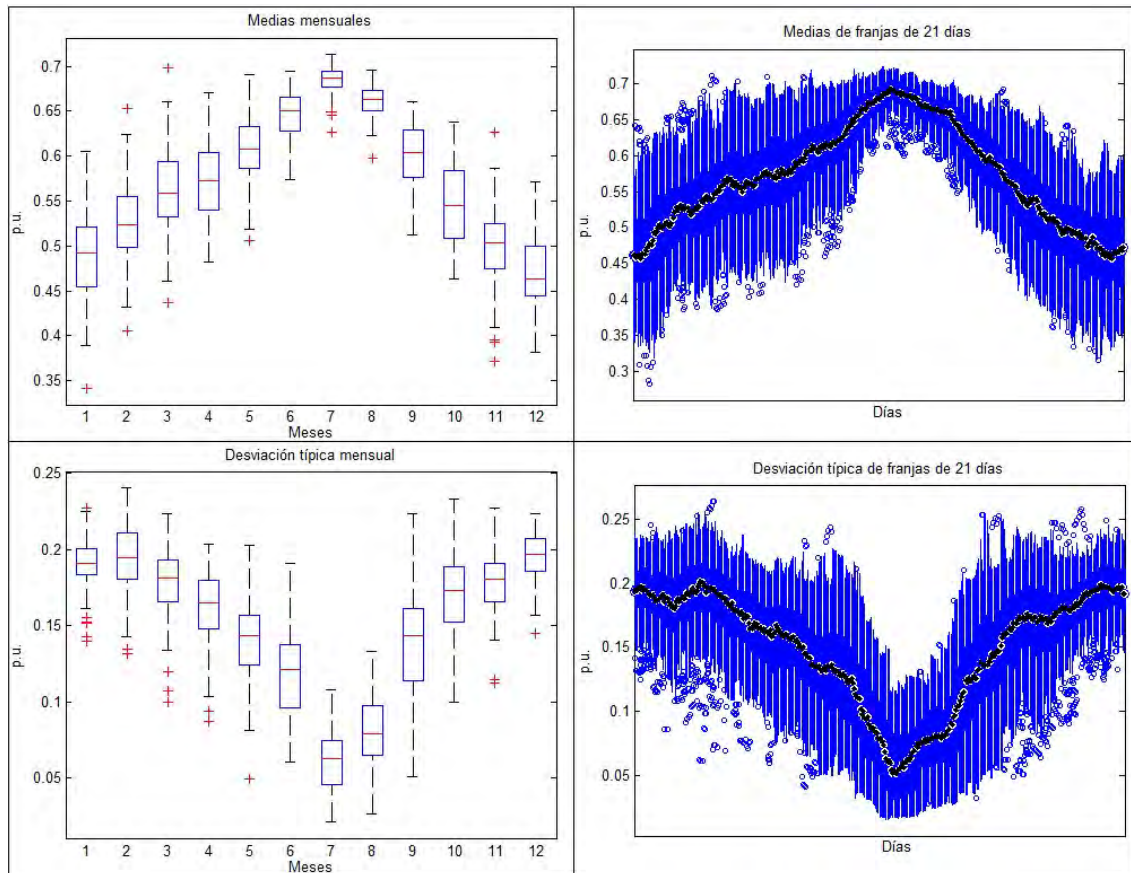


Figura 9.6.1.14.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Saguhún, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Madrid:**

Aranjuez:



*Figura 9.6.1.15.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Aranjuez, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.*



### C. Finca Experimental:

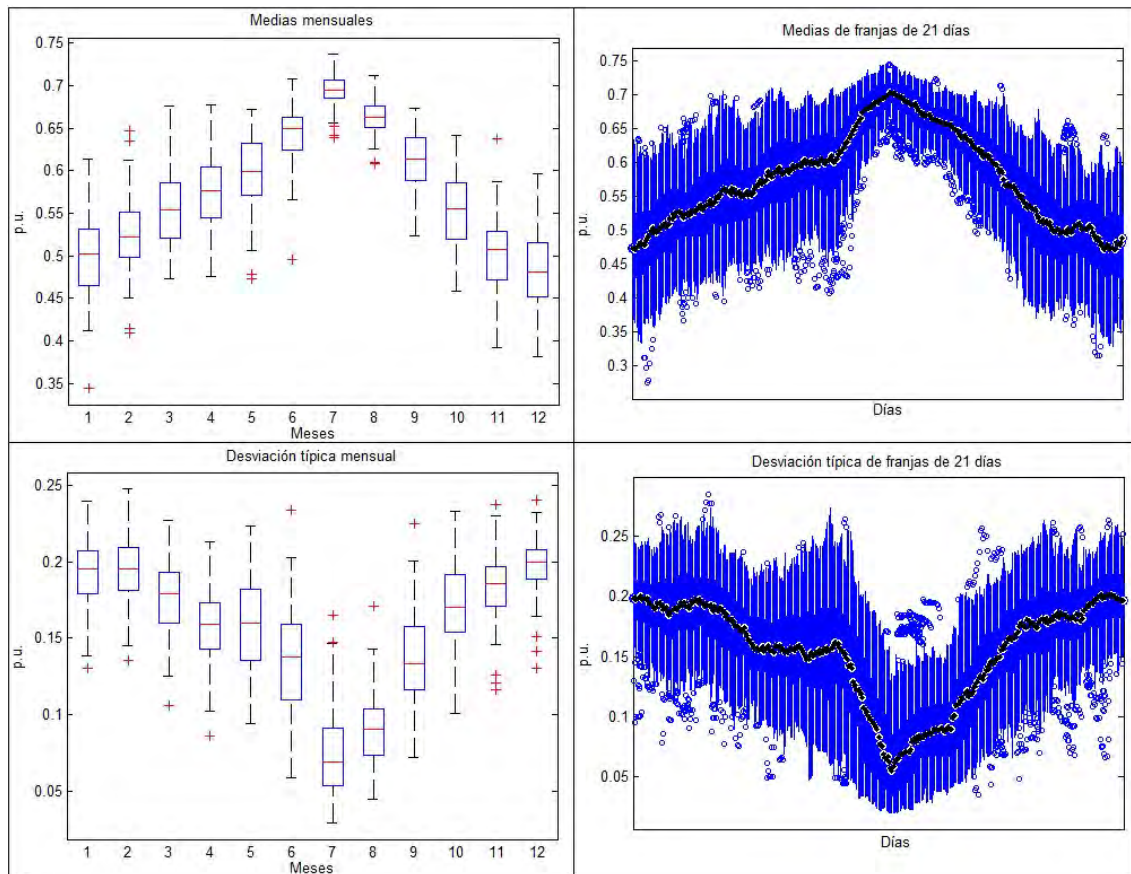


Figura 9.6.1.16.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de C. Finca Experimental, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

## Fuentidueña de Tajo:

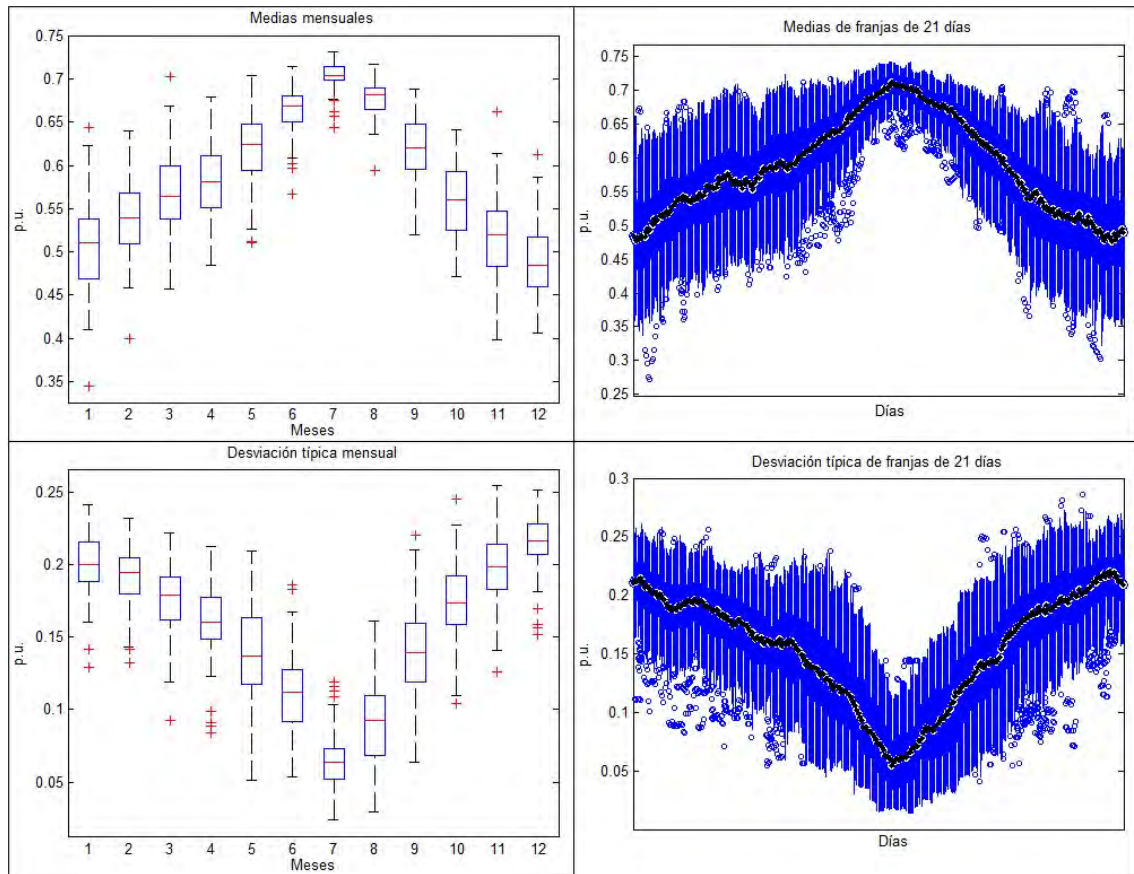
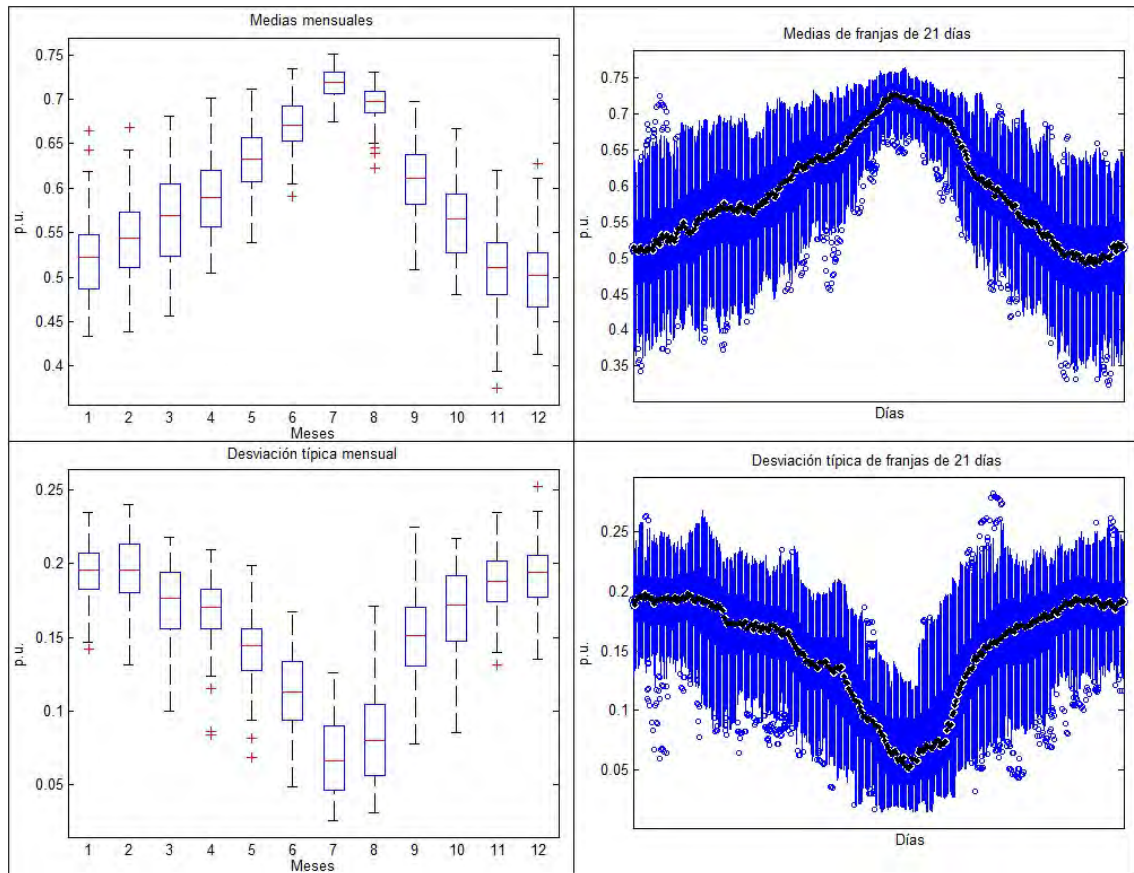


Figura 9.6.1.17.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Fuentidueña de Tajo, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Córdoba:**

**Belmez:**



*Figura 9.6.1.18.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Belmez, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.*



Córdoba:

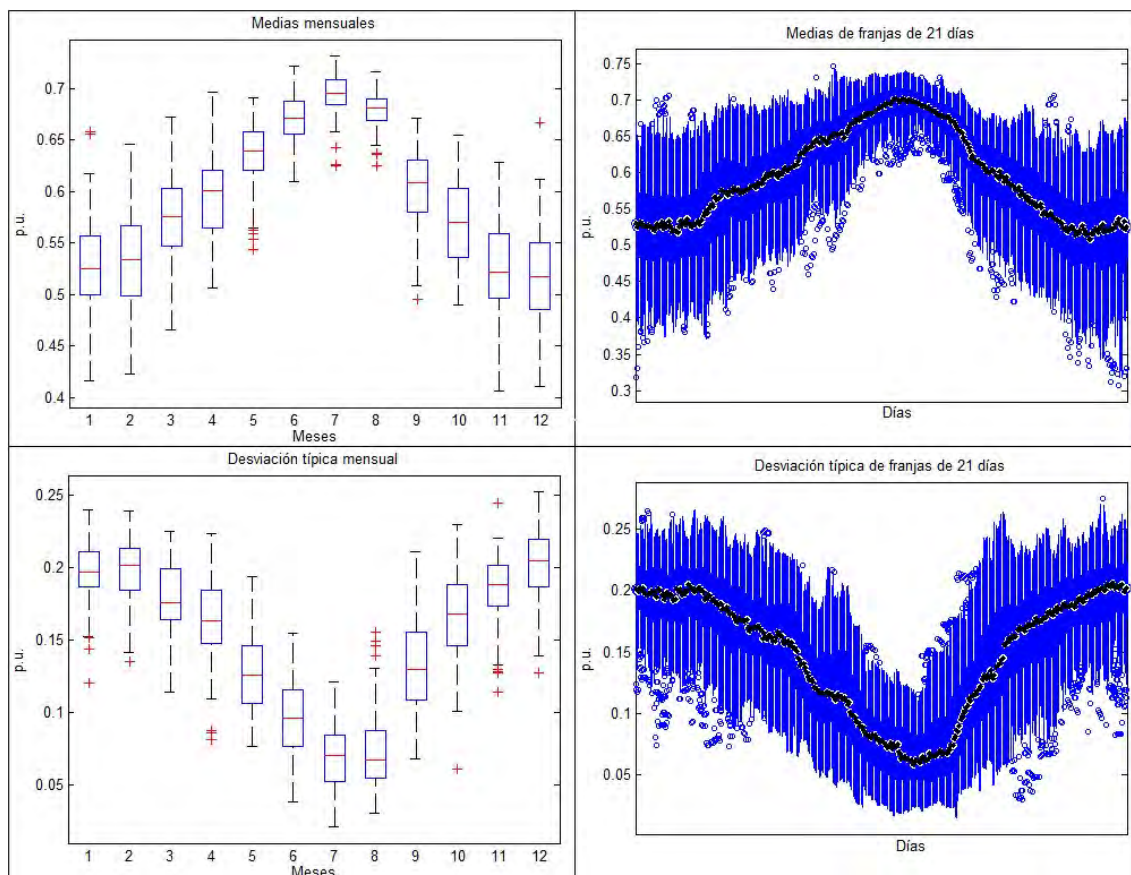


Figura 9.6.1.19.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Córdoba, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Santaella:

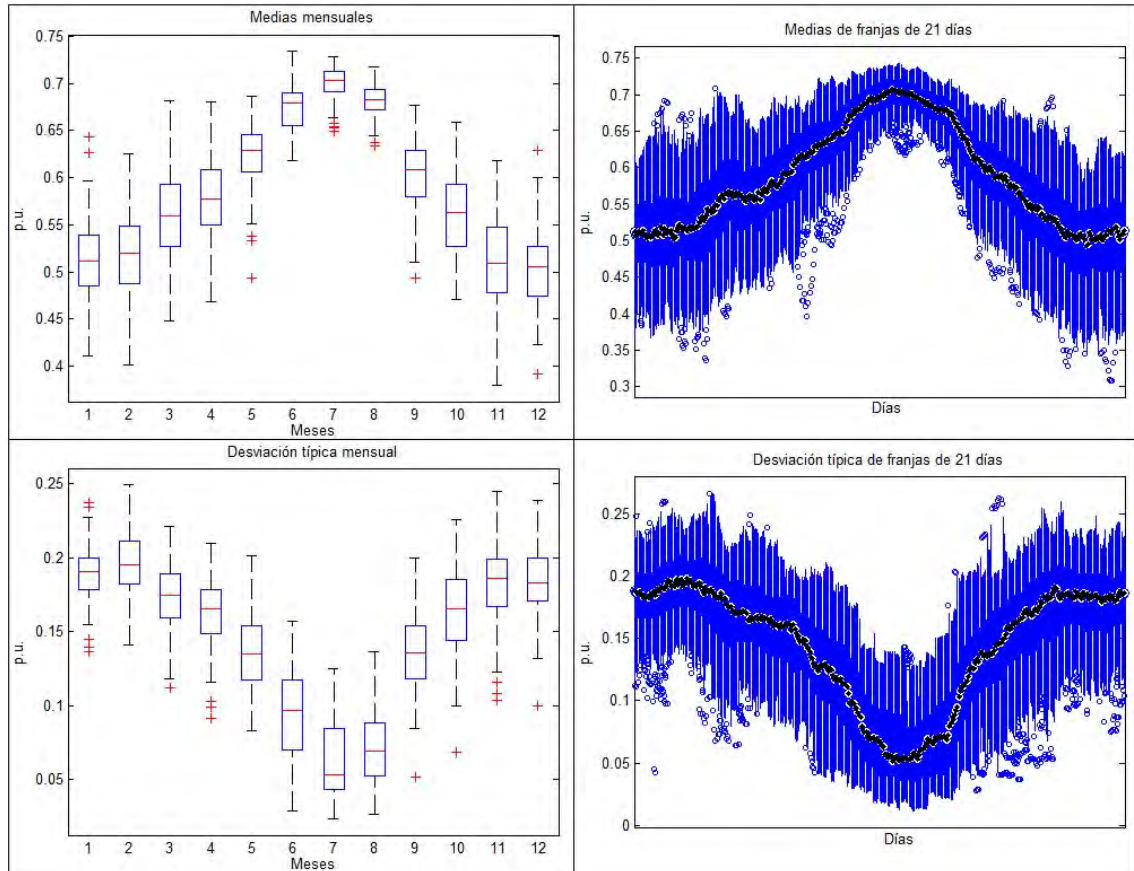
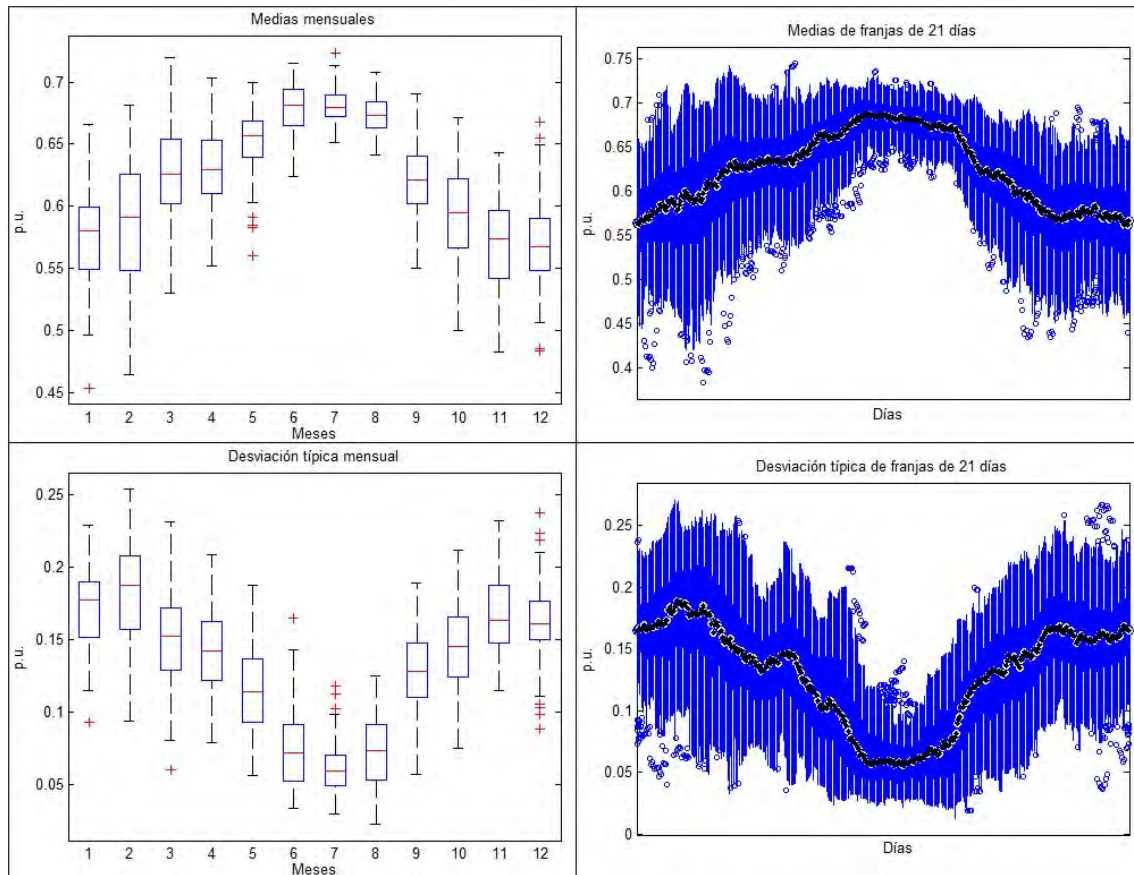


Figura 9.6.1.20.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Almería:**

Almería:



*Figura 9.6.1.21.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Almería, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.*

Fiñana:

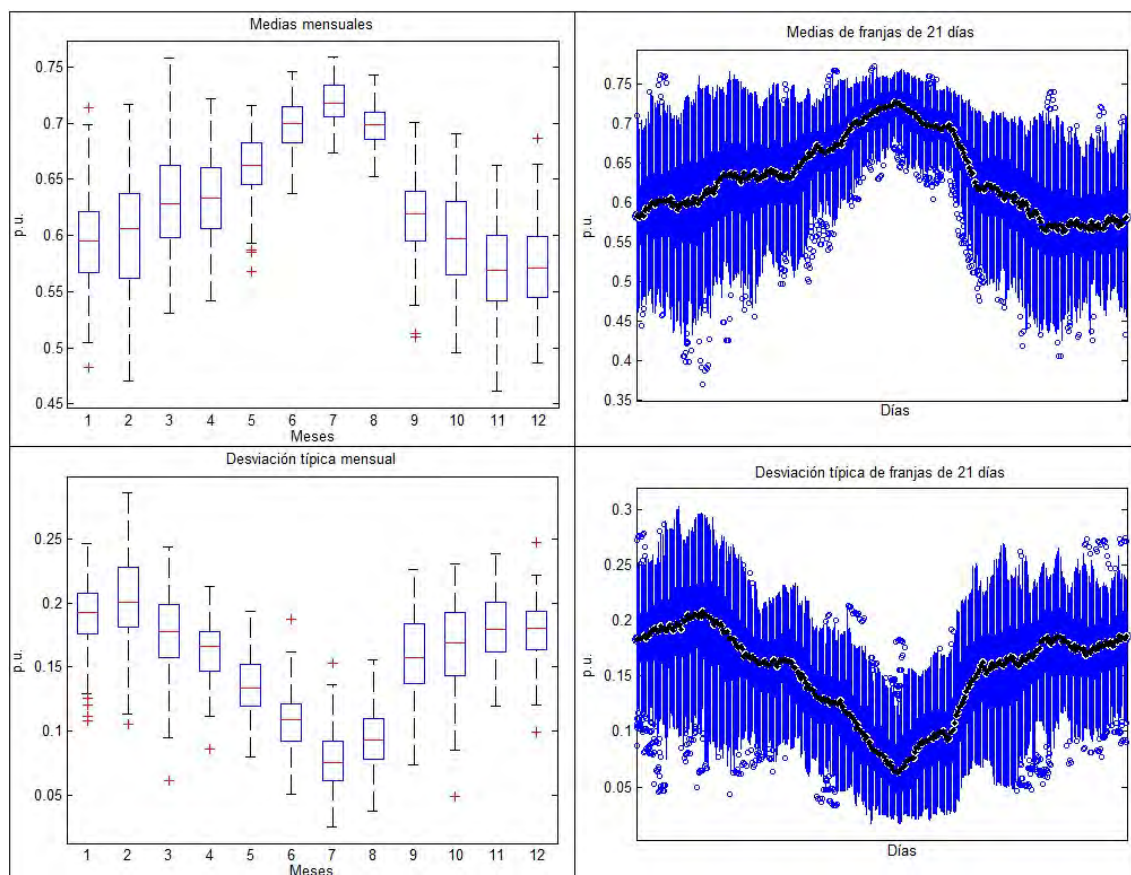


Figura 9.6.1.22.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Fiñana, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



Tabernas:

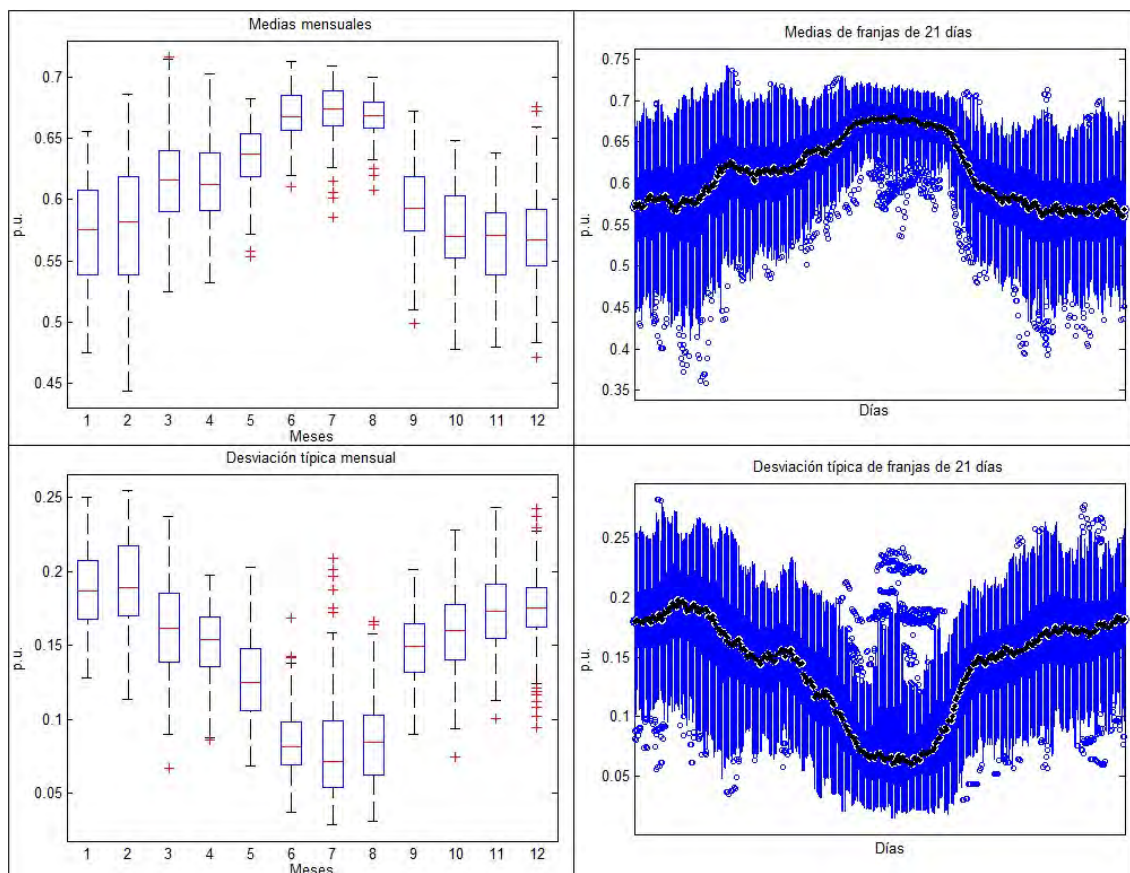


Figura 9.6.1.23.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB1 con los datos diarios de Tabernas, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

## 9.6.2. Anexo 6.2

Carracedelo:

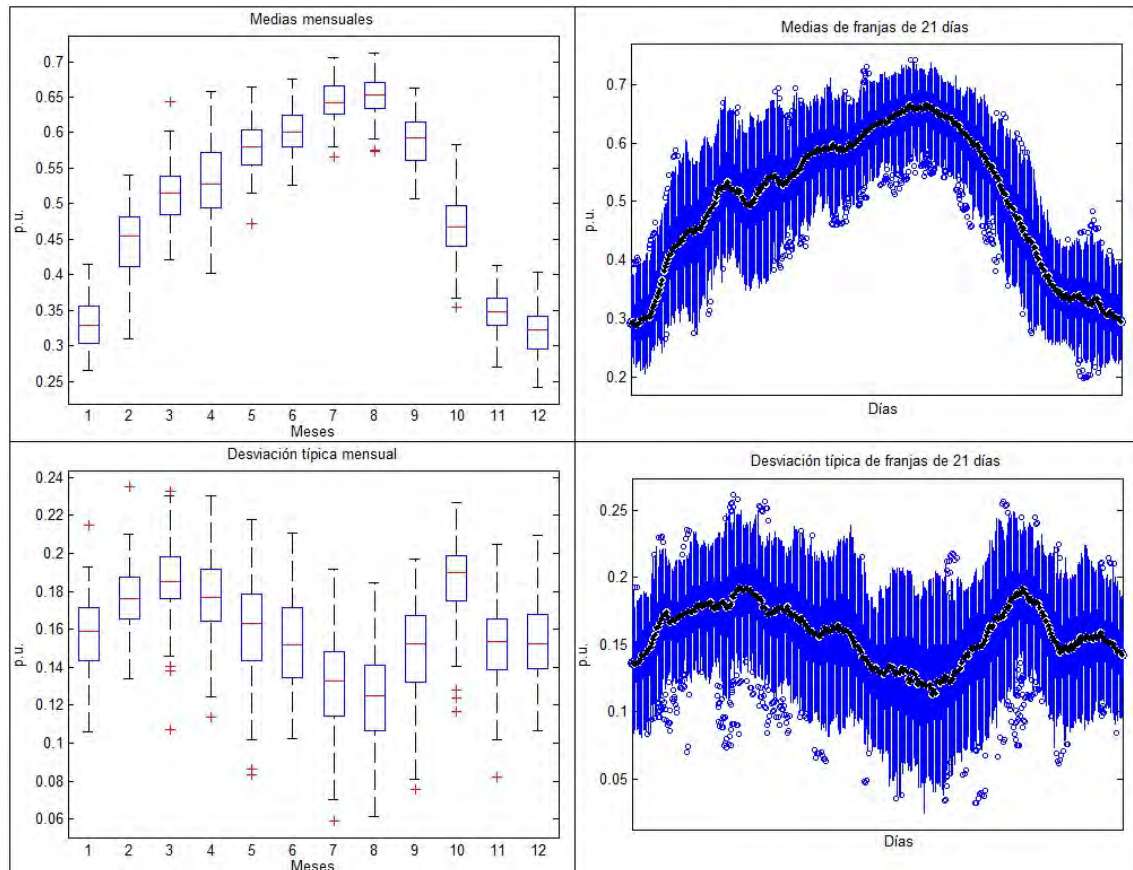


Figura 9.6.2.1.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Carracedelo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Saguhún:

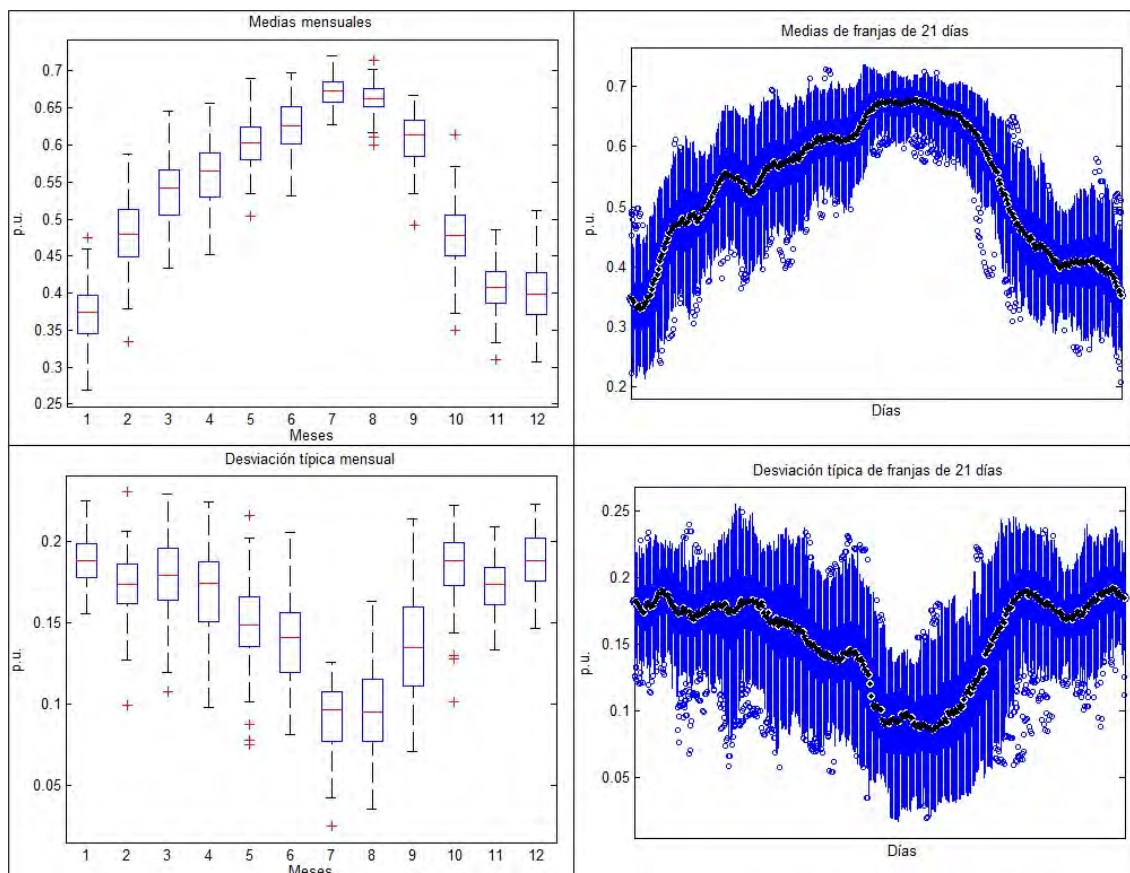


Figura 9.6.2.2.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Saguhún, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



**Madrid:**

Aranjuez:

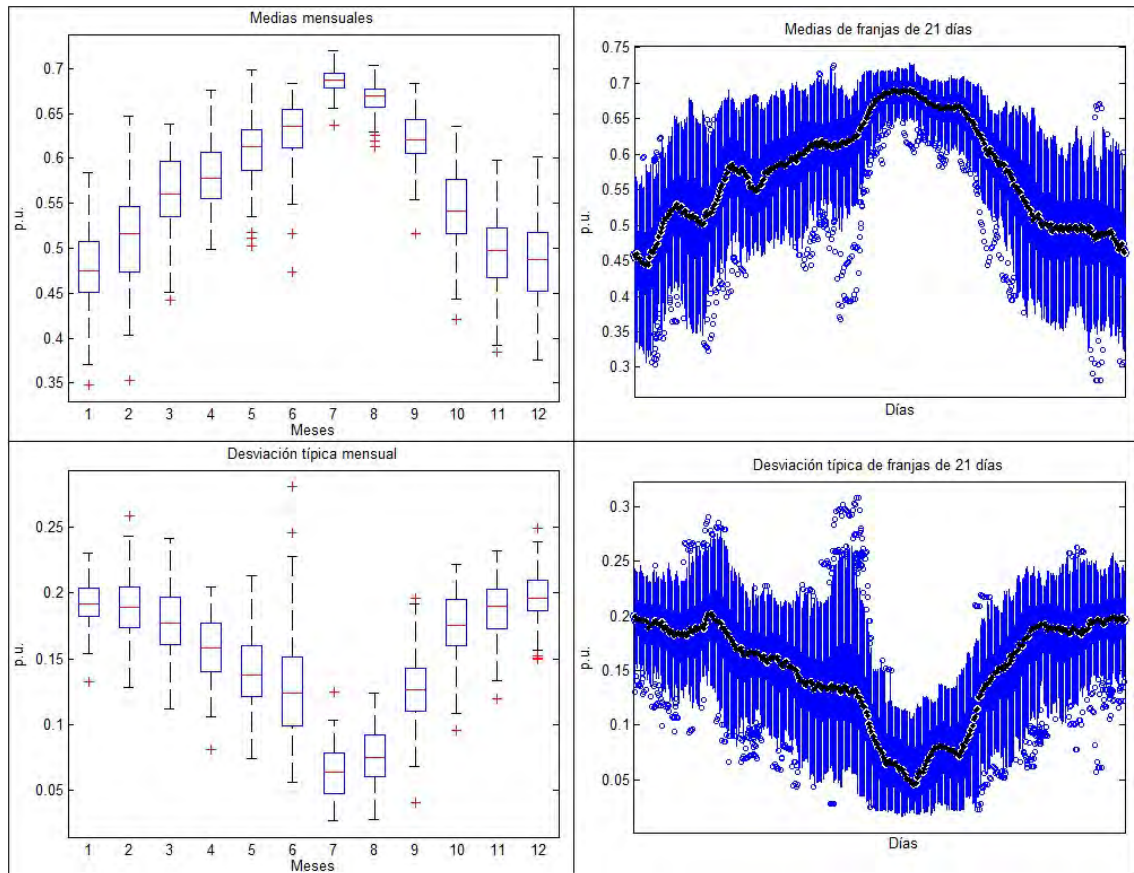


Figura 9.6.2.3.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Aranjuez, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

### C. Finca Experimental:

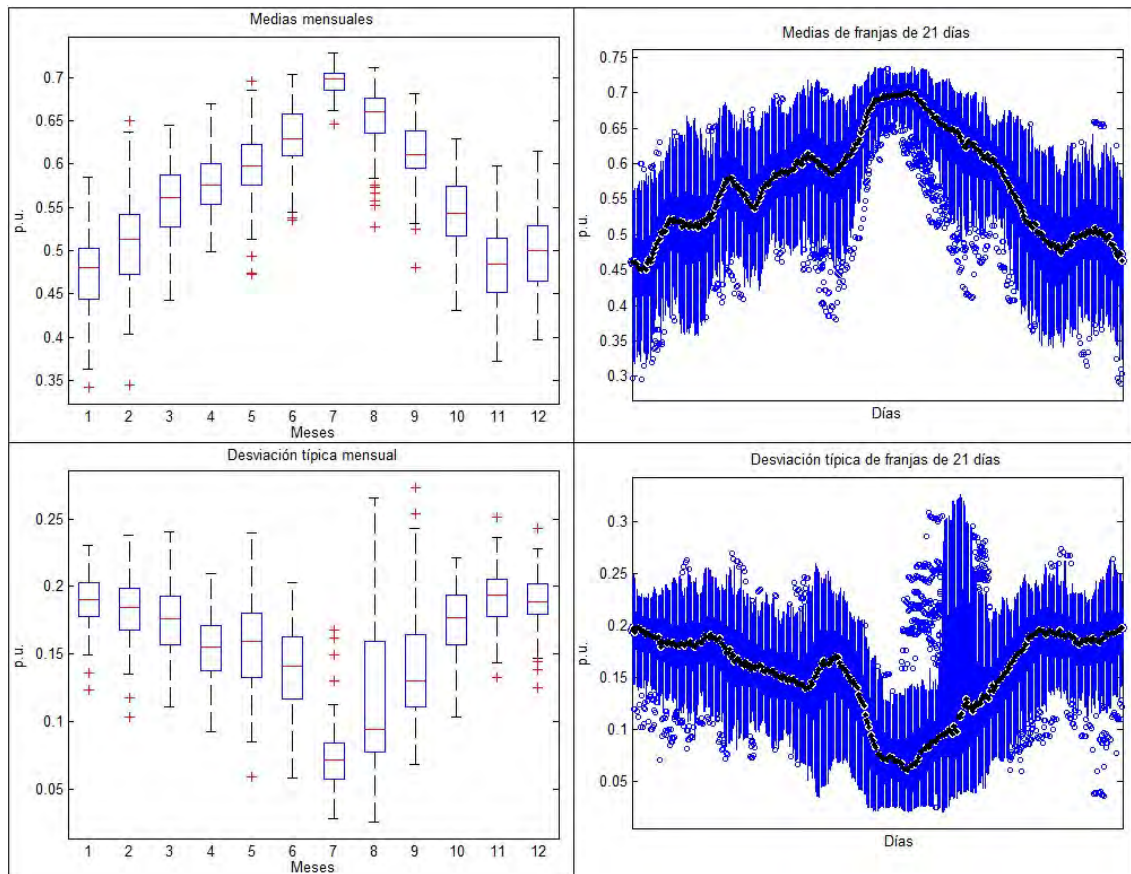


Figura 9.6.2.4.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de C. Finca Experimental, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

### Fuentidueña de Tajo:

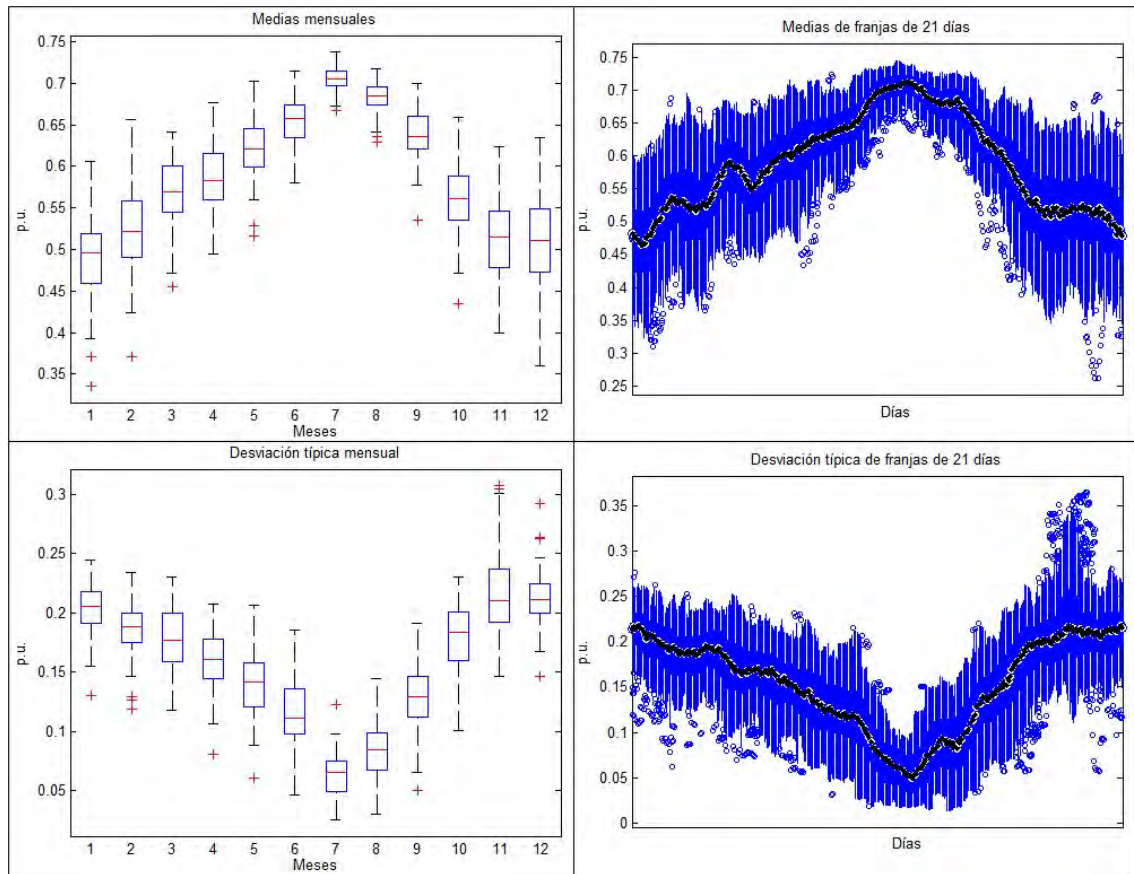
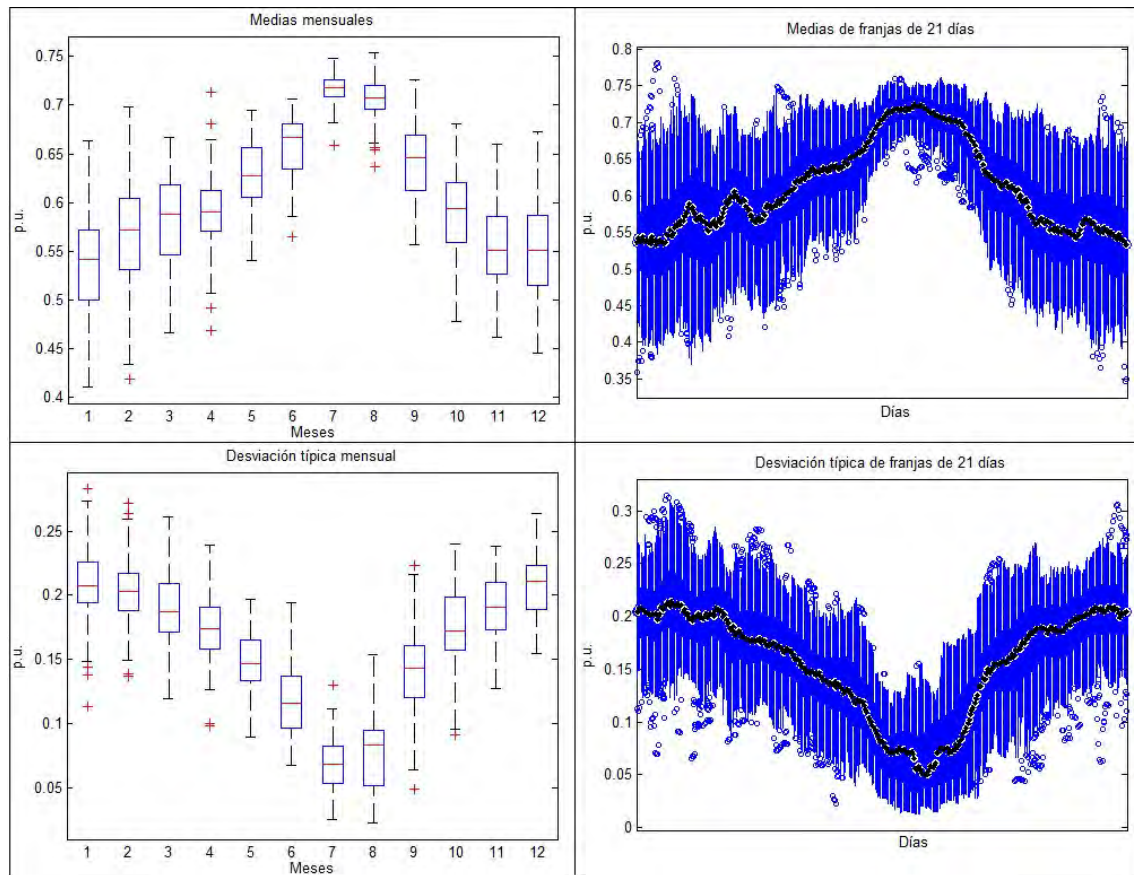


Figura 9.6.2.5.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Fuentidueña de Tajo, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Córdoba:**

**Belmez:**



*Figura 9.6.2.6.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Belmez, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.*



Córdoba:

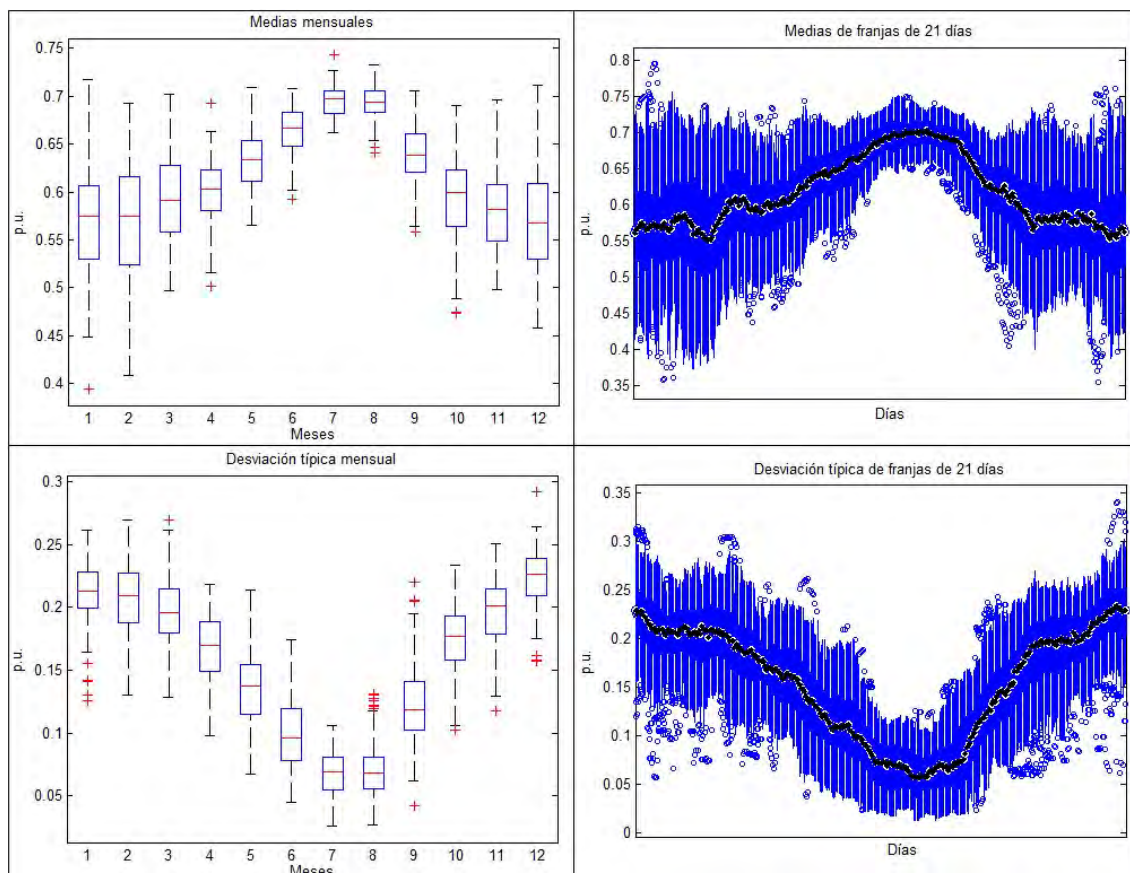


Figura 9.6.2.7.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Córdoba, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Santaella:

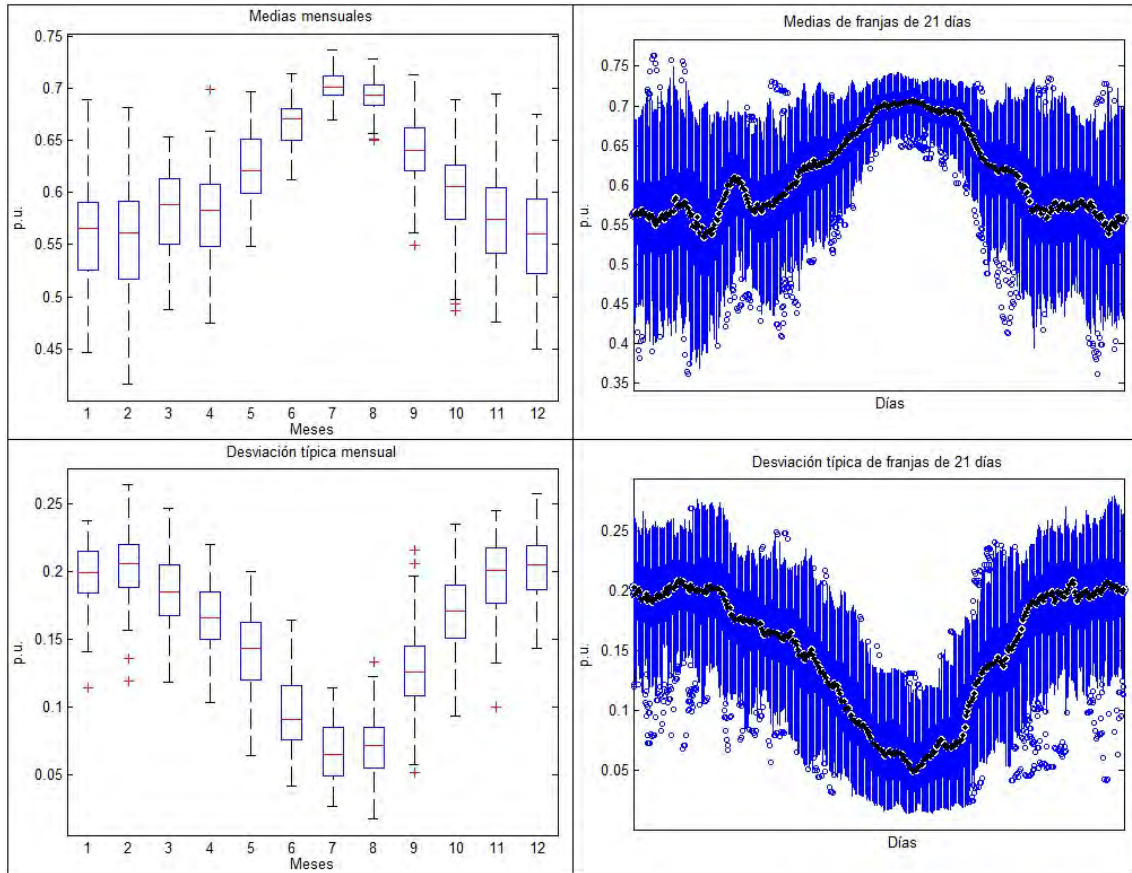


Figura 9.6.2.8.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Almería:**

Almería:

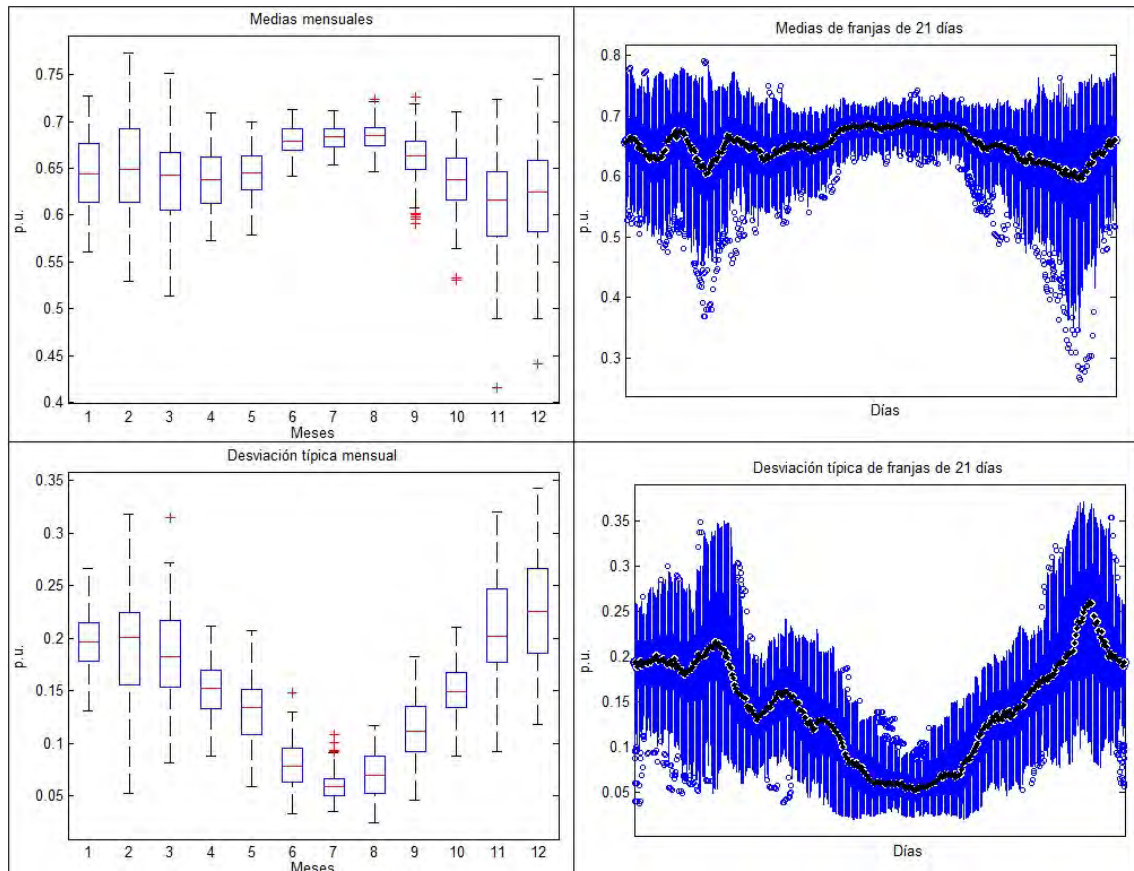


Figura 9.6.2.9.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Almería, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



Fiñana:

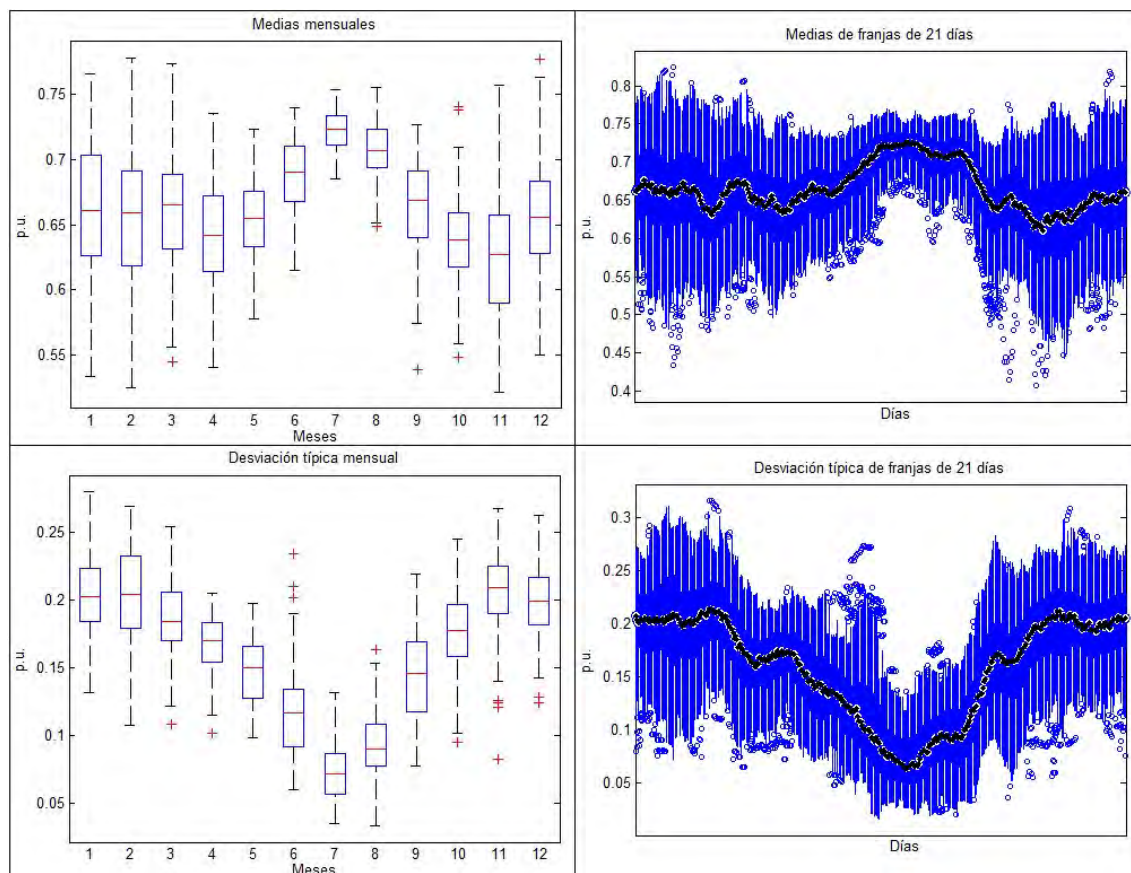


Figura 9.6.2.10.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Fiñana, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Tabernas:

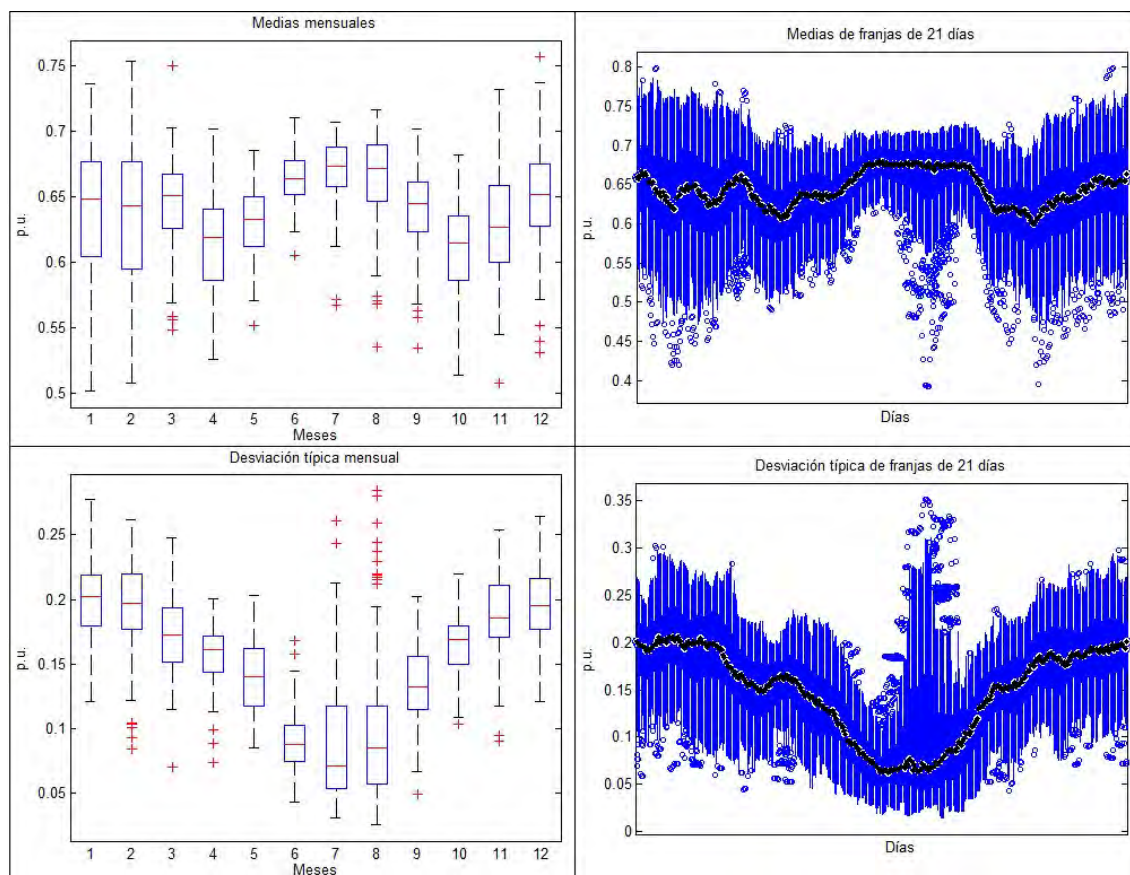


Figura 9.6.2.11.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos horarios de Tabernas, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Gráficas de los resultados aplicando el MBB2 a las series de datos de los índices de claridad diarios:

**León:**

Bustillo del Páramo:

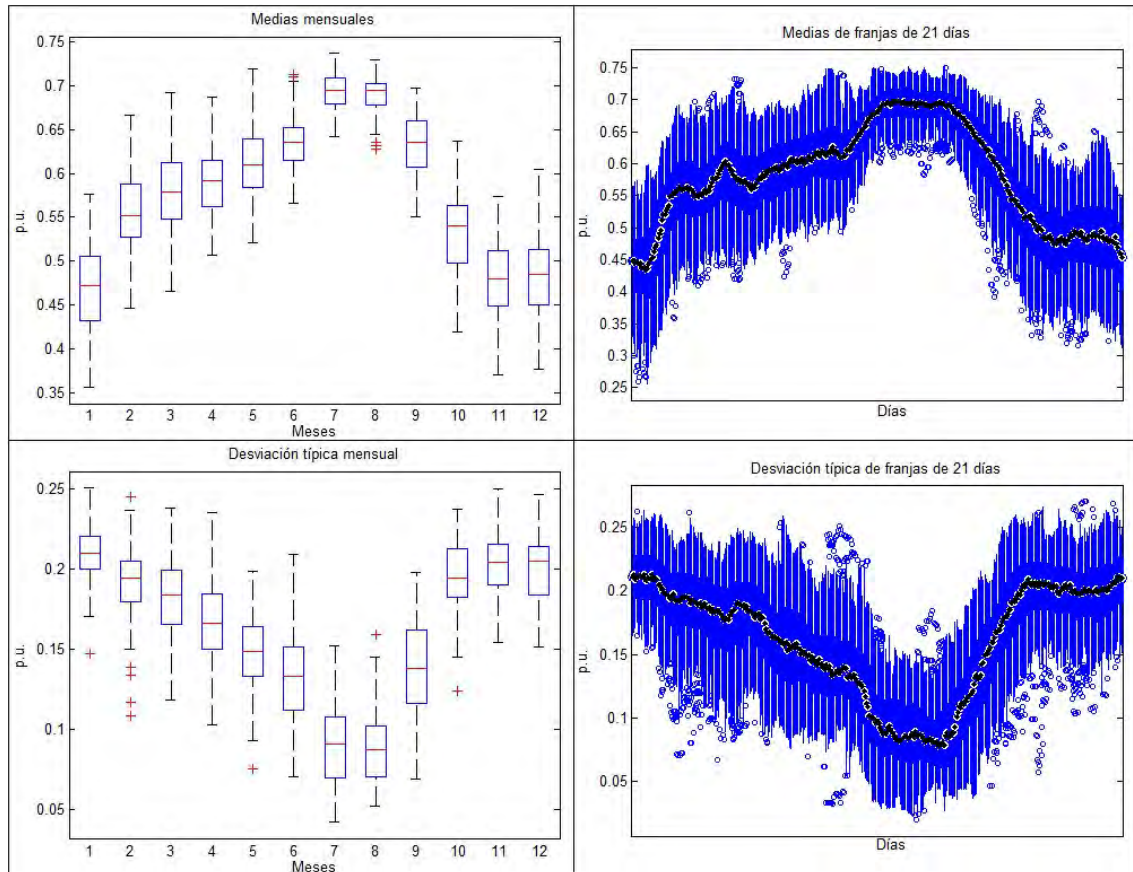


Figura 9.6.2.12.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Bustillo del Páramo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Carracedelo:

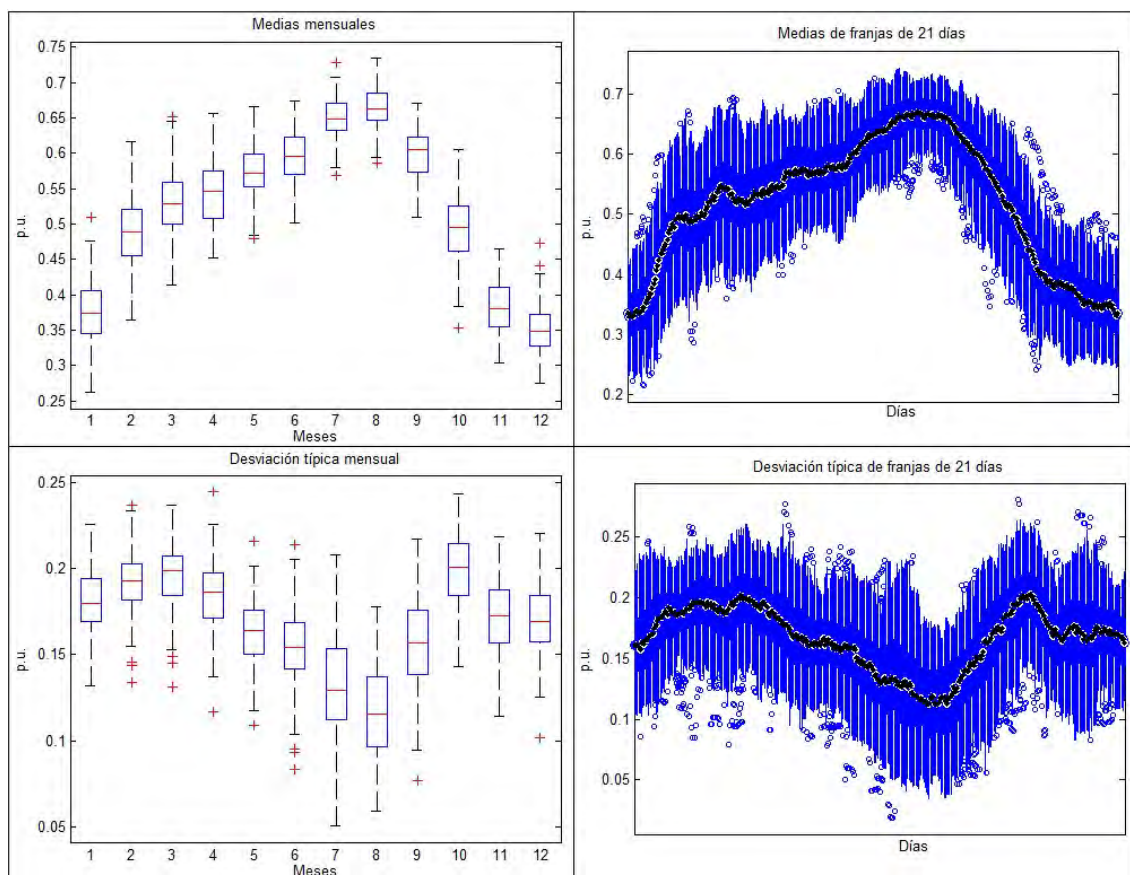


Figura 9.6.2.13.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Carracedelo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



Saguhún:

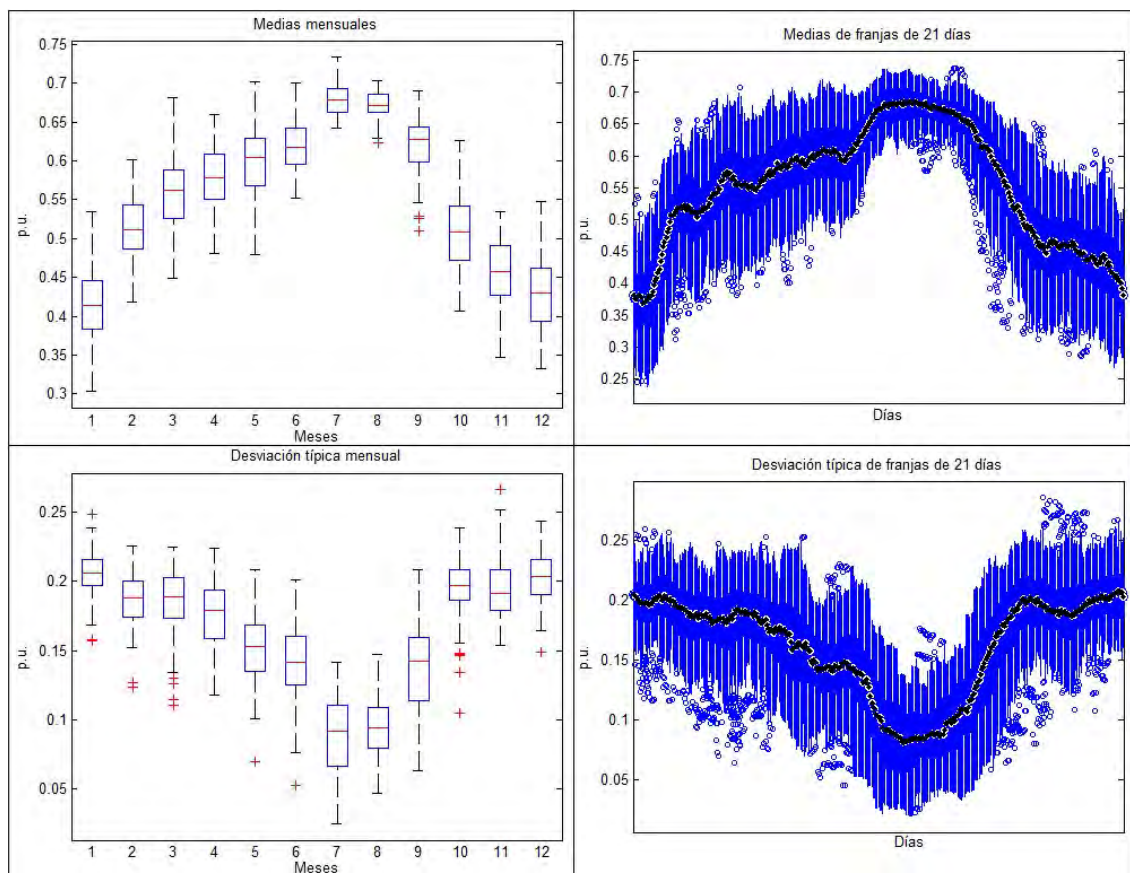


Figura 9.6.2.14.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Saguhún, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Madrid:**

Aranjuez:

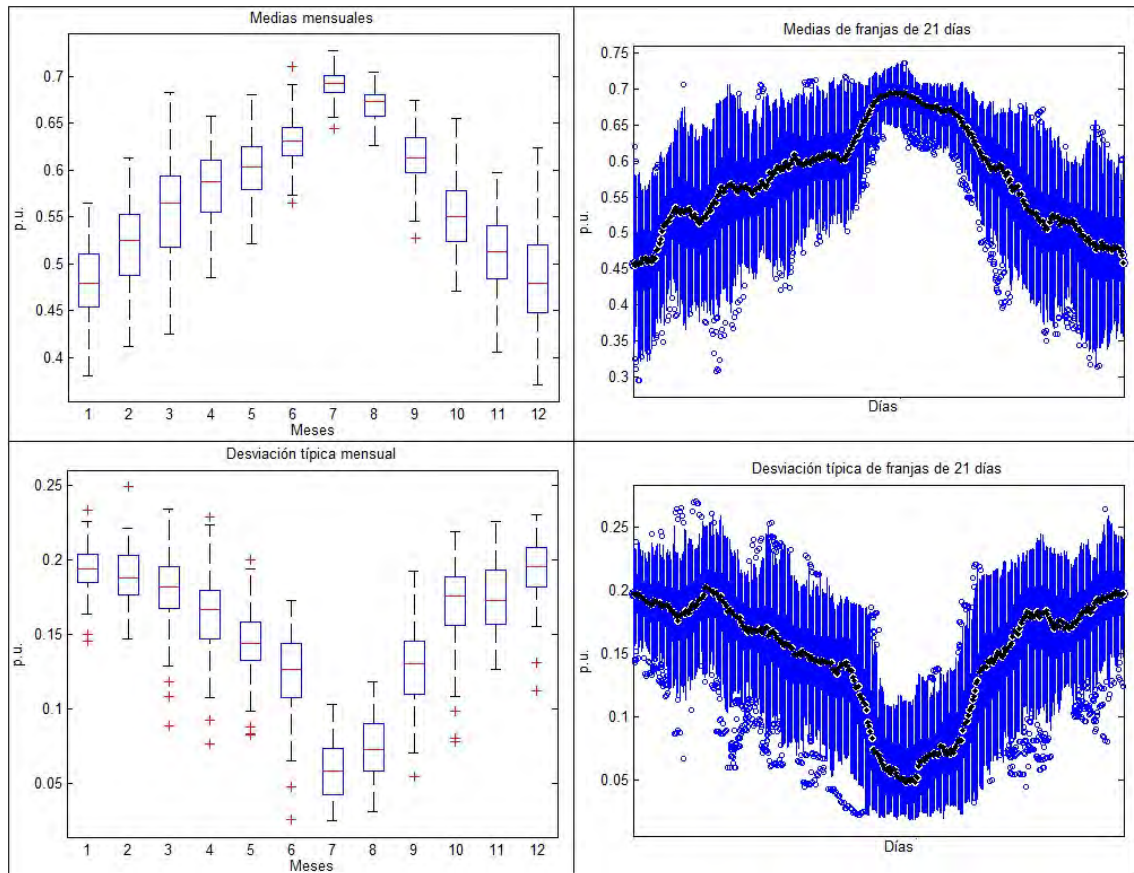


Figura 9.6.2.15.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Aranjuez, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



### C. Finca Experimental:

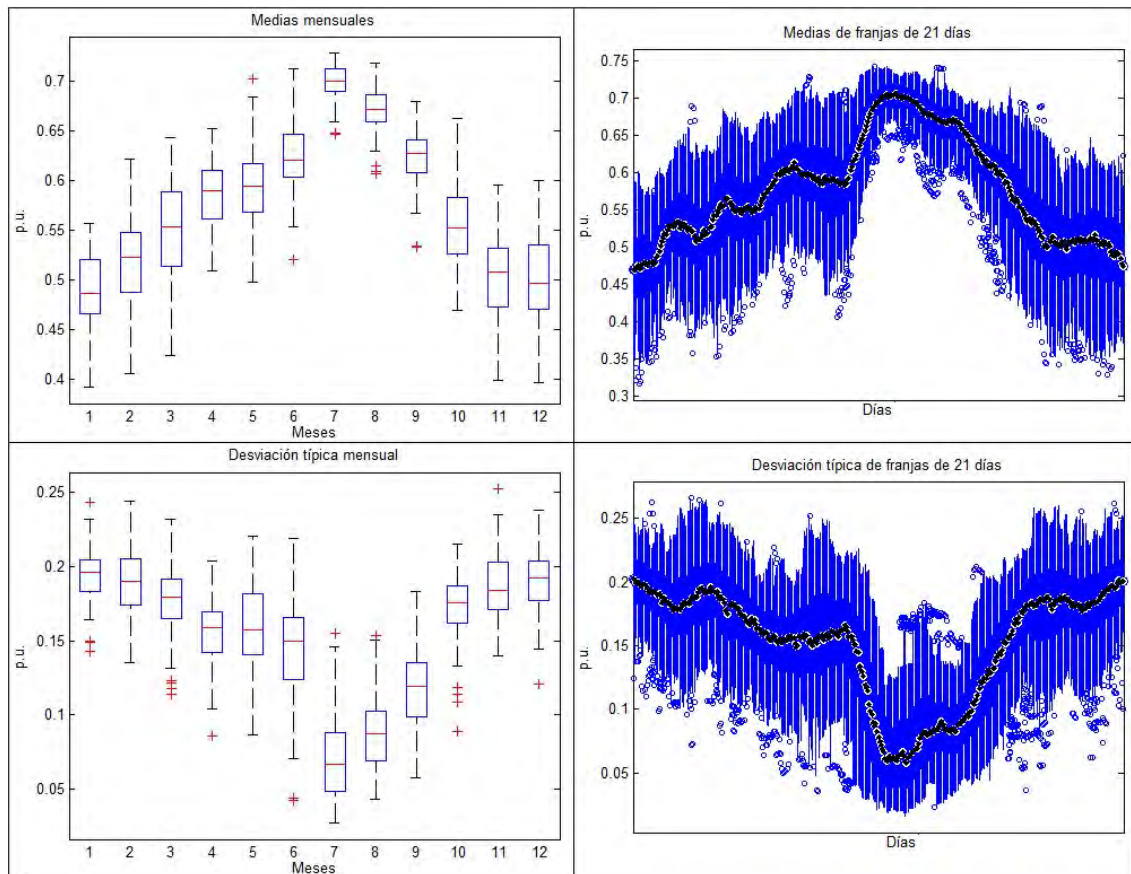


Figura 9.6.2.16.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de C. Finca Experimental, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

## Fuentidueña de Tajo:

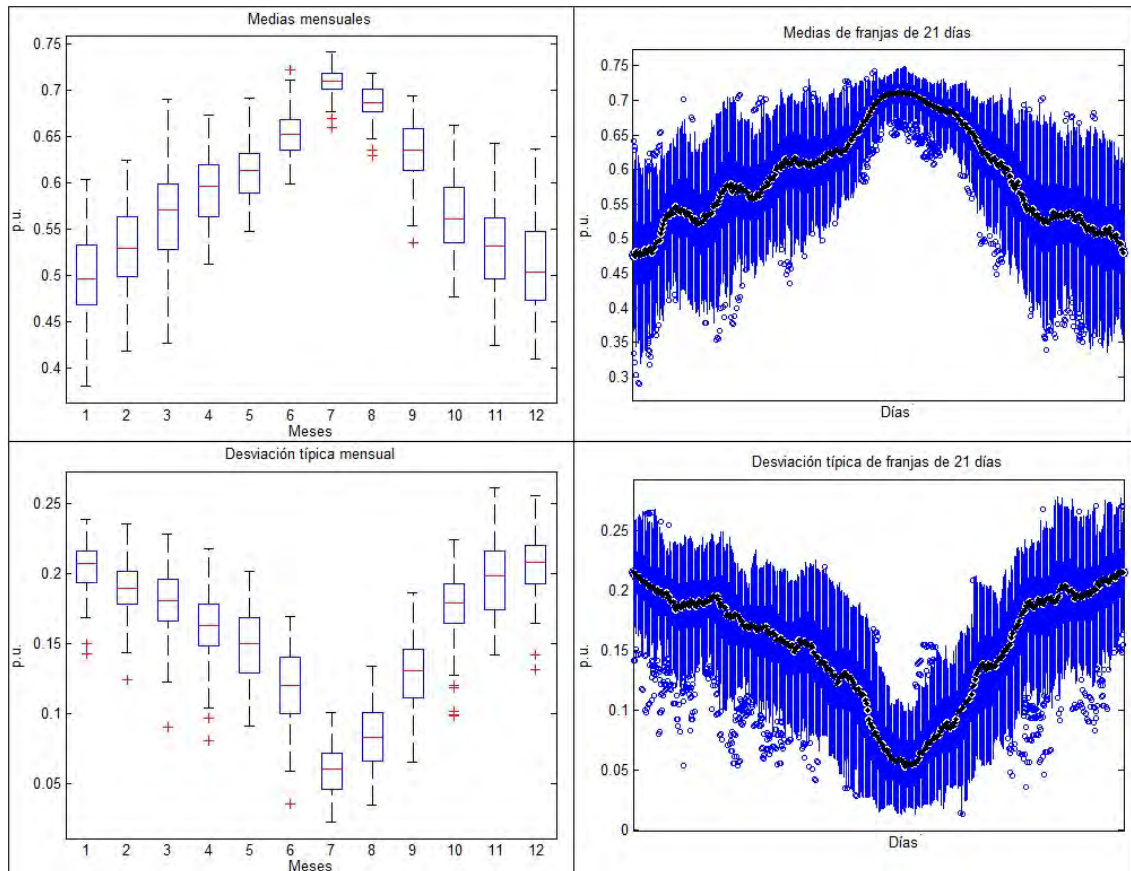
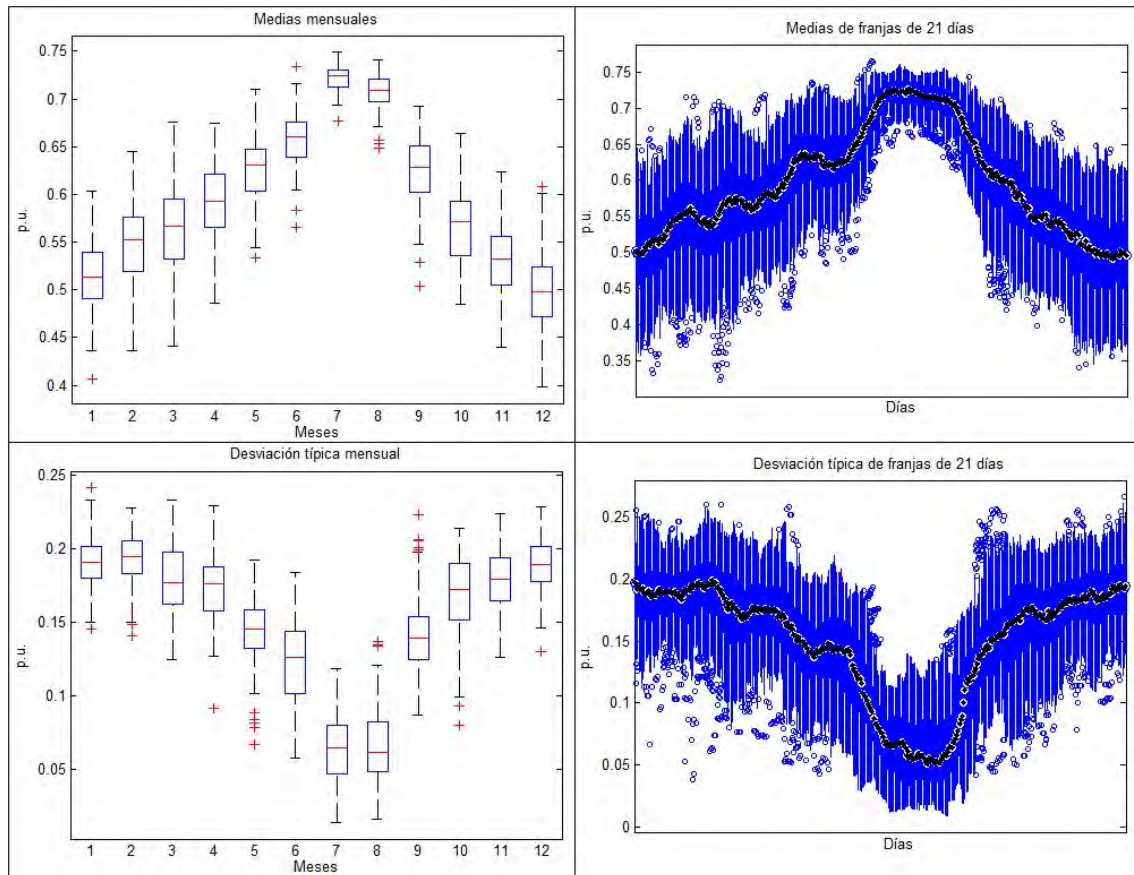


Figura 9.6.2.17.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Fuentidueña de Tajo, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Córdoba:**

**Belmez:**



*Figura 9.6.2.18.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Belmez, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.*

Córdoba:

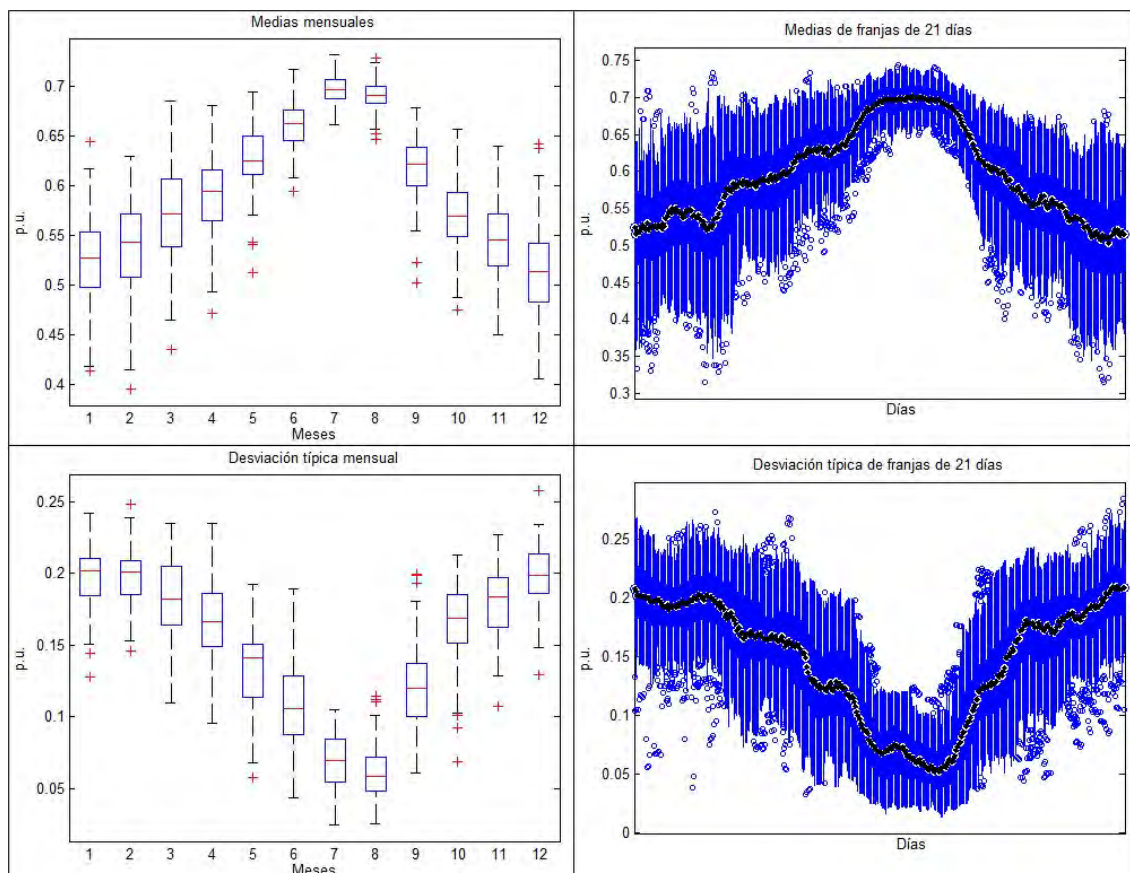


Figura 9.6.2.19.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Córdoba, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



Santaella:

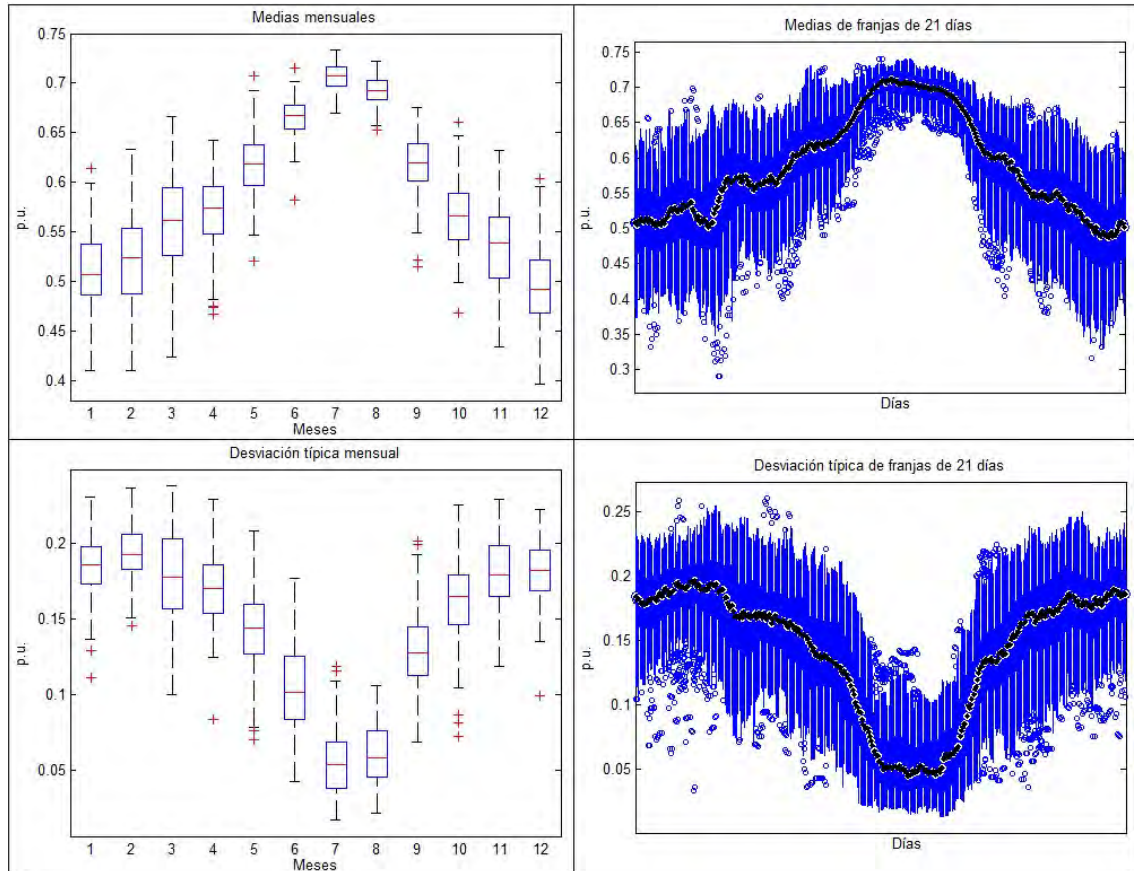
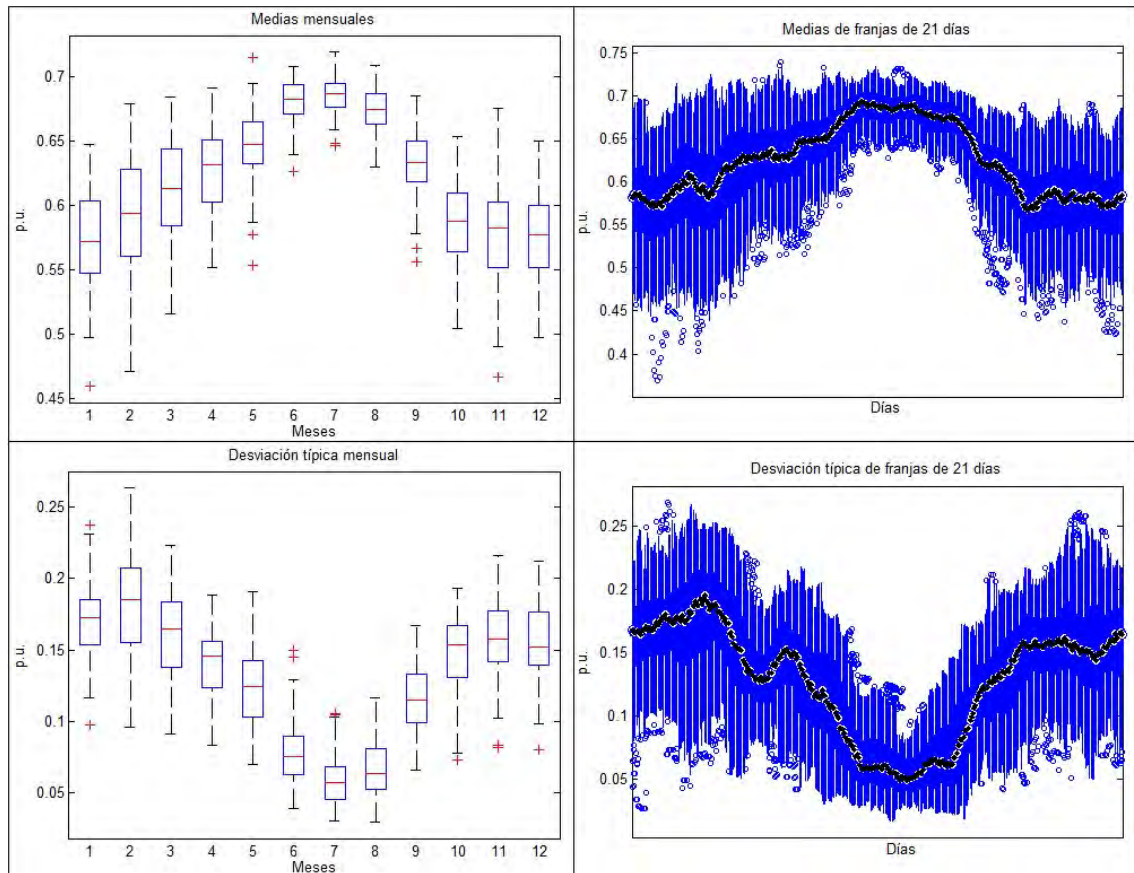


Figura 9.6.2.20.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Almería:**

Almería:



*Figura 9.6.2.21.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Almería, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.*



Fiñana:

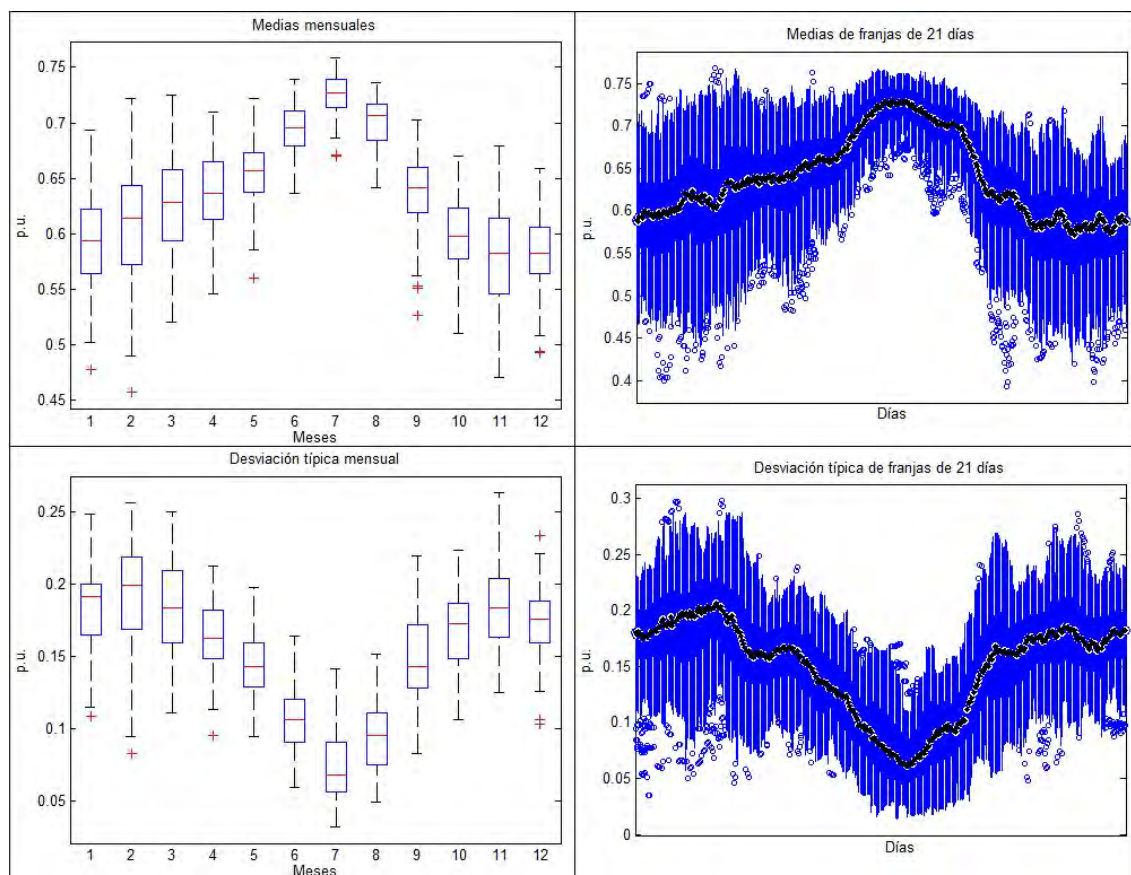


Figura 9.6.2.22.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Fiñana, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Tabernas:

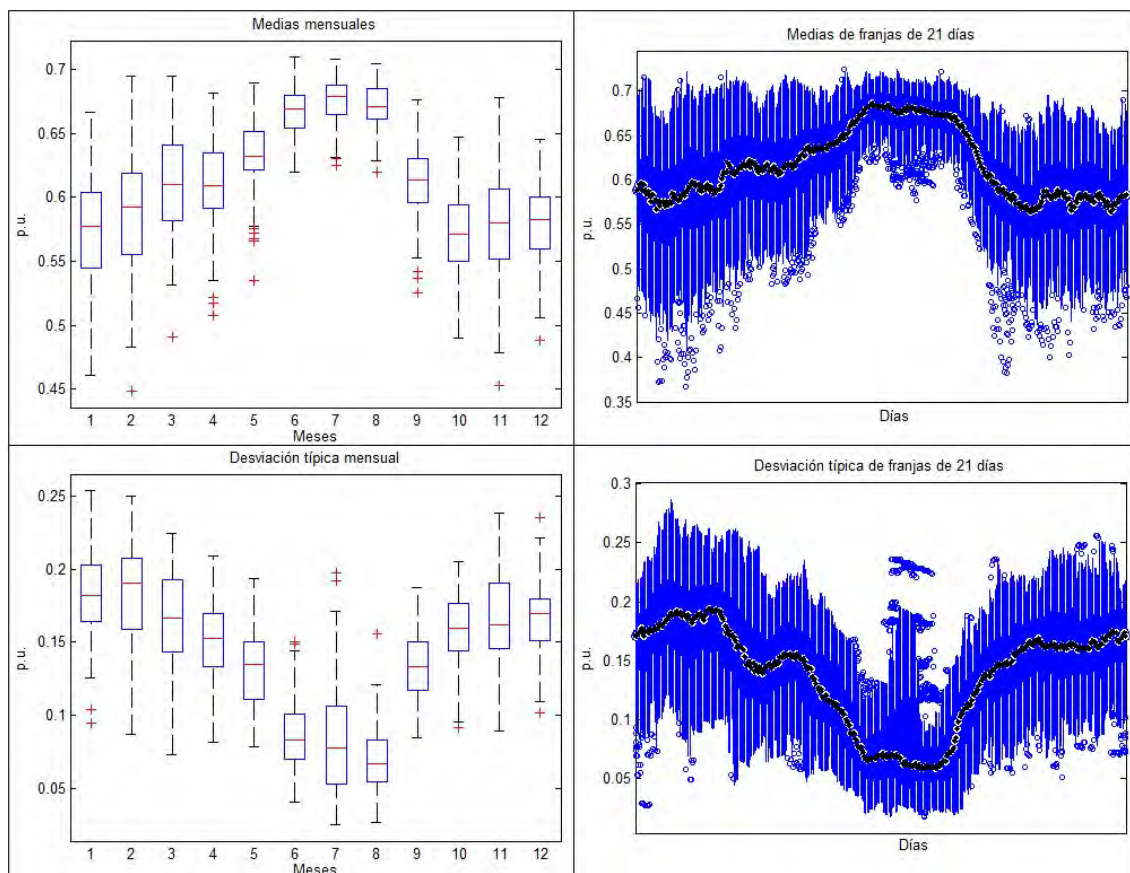


Figura 9.6.2.23.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB2 con los datos diarios de Tabernas, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

### 9.6.3. Anexo 6.3

Carracedelo:

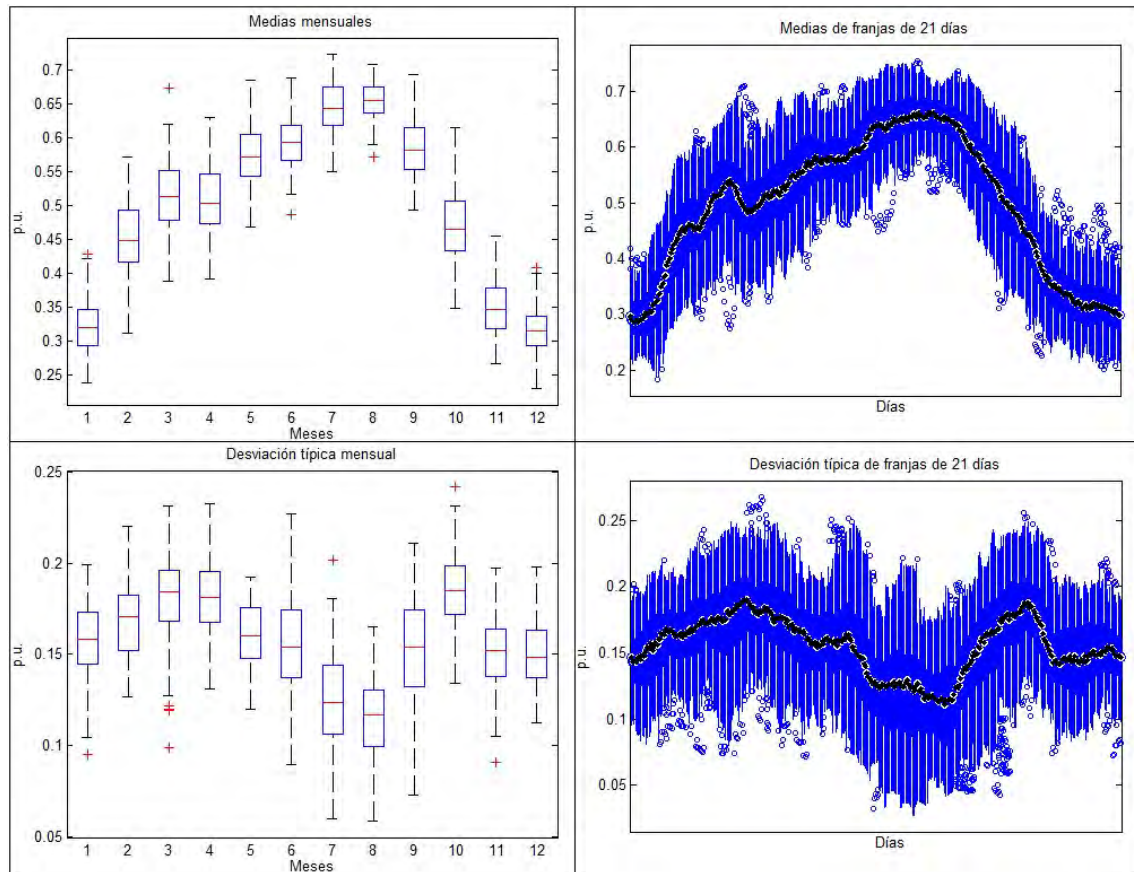


Figura 9.6.3.1.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Carracedelo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Saguhún:

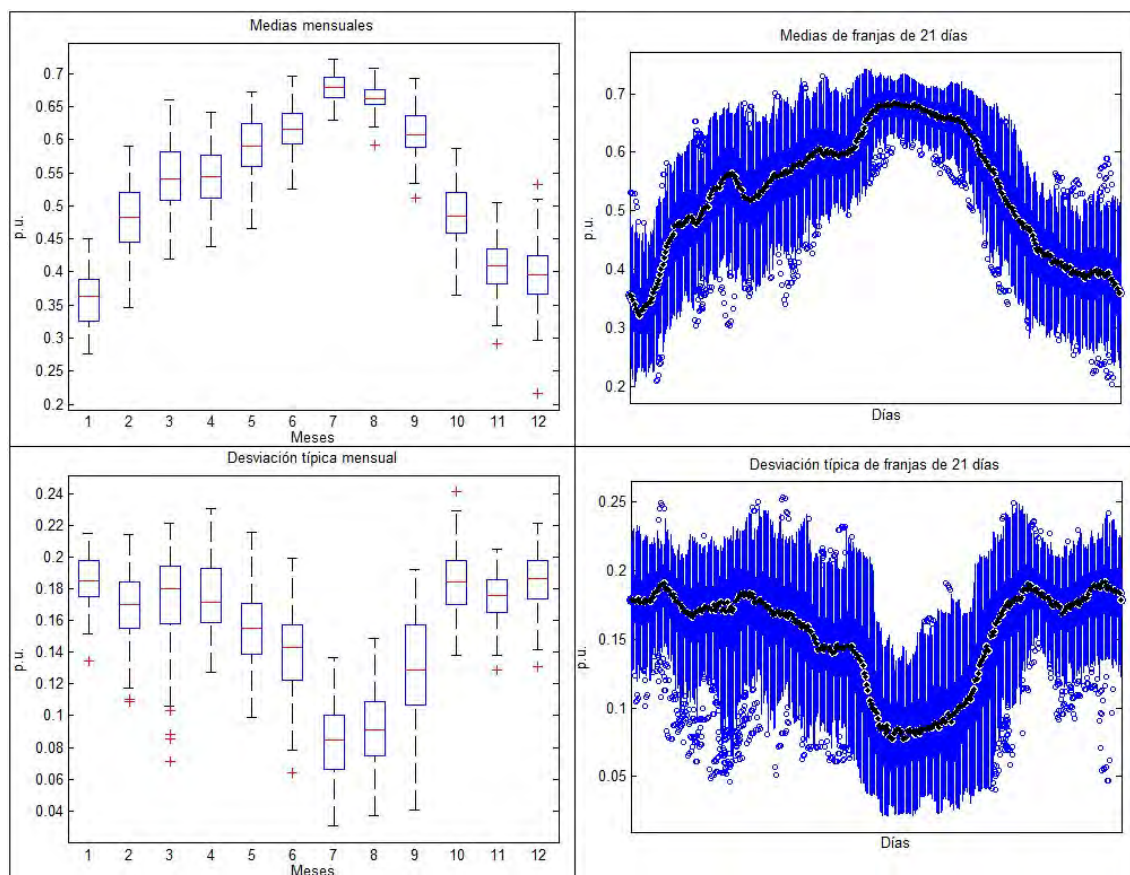


Figura 9.6.3.2.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Saguhún, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



**Madrid:**

Aranjuez:

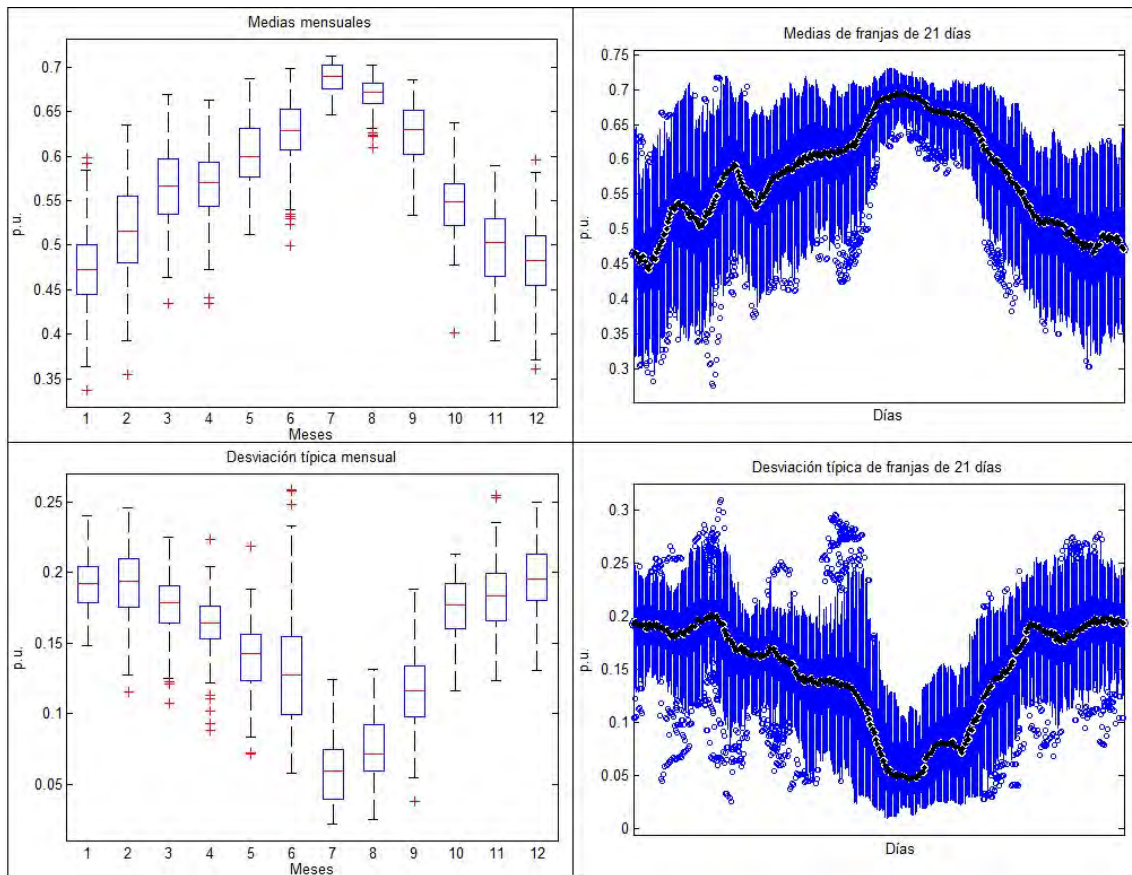


Figura 9.6.3.3.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Aranjuez, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

### C. Finca Experimental:

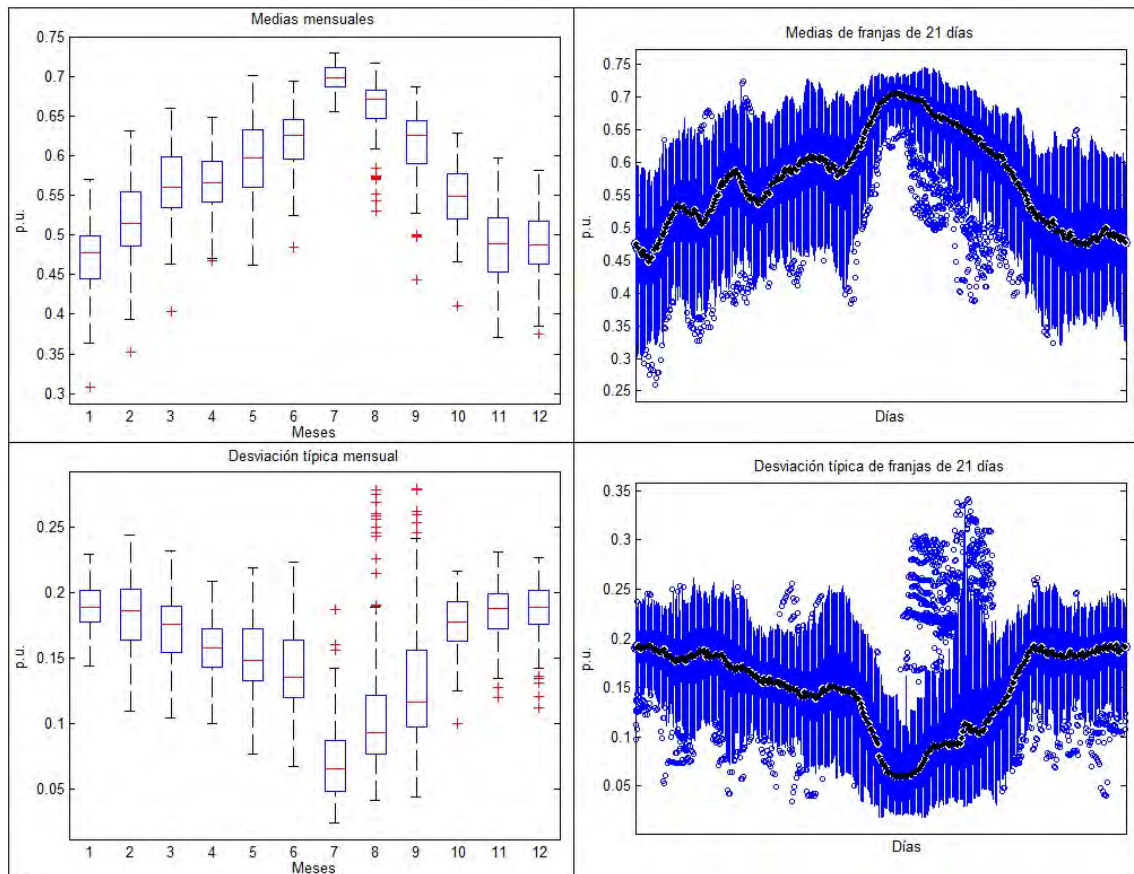


Figura 9.6.3.4.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de C. Finca Experimental, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



### Fuentidueña de Tajo:

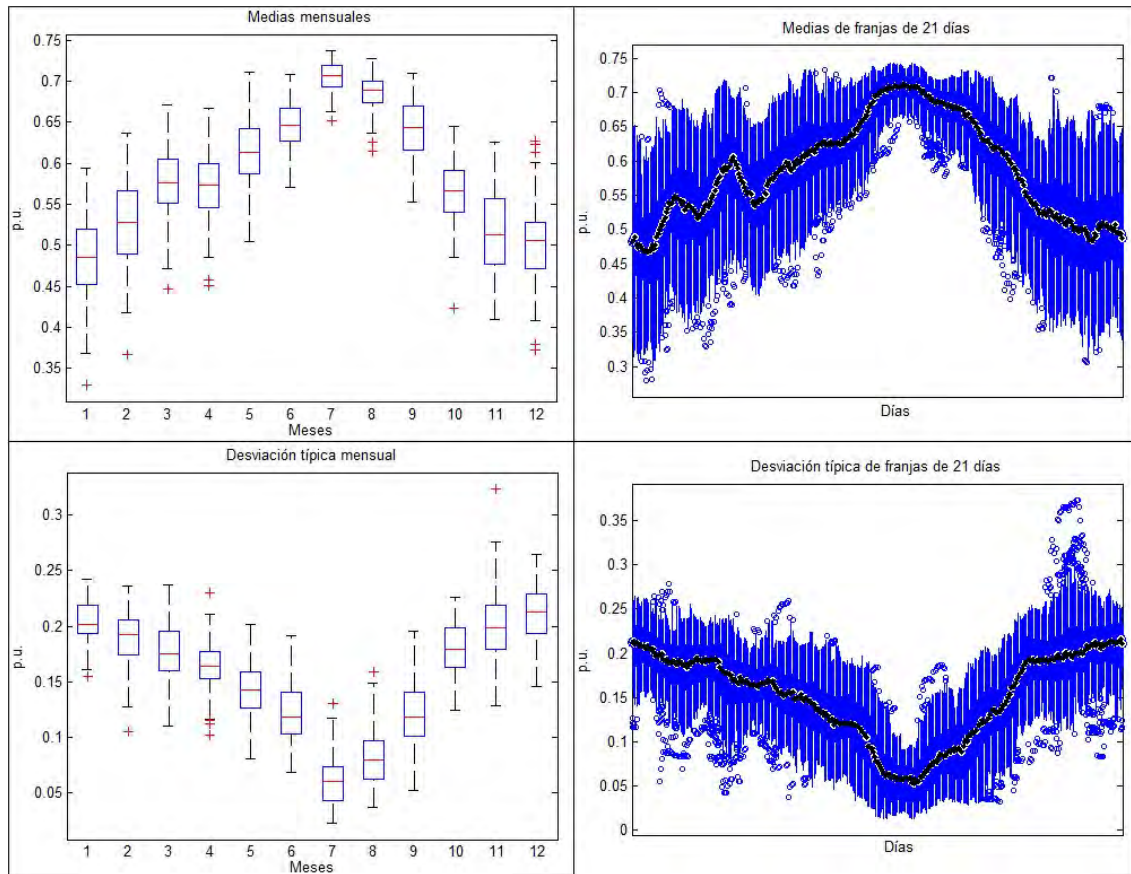
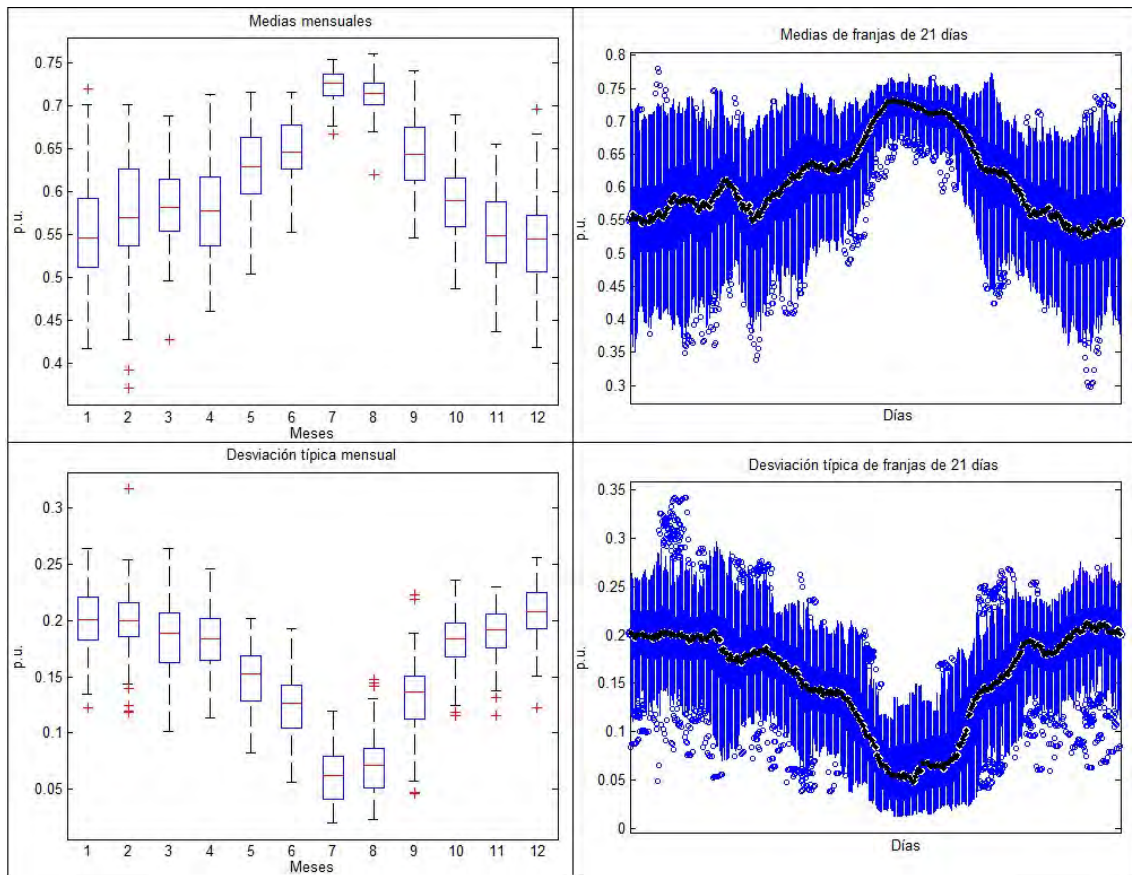


Figura 9.6.3.5.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Fuentidueña de Tajo, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Córdoba:**

**Belmez:**



*Figura 9.6.3.6.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Belmez, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.*

Córdoba:

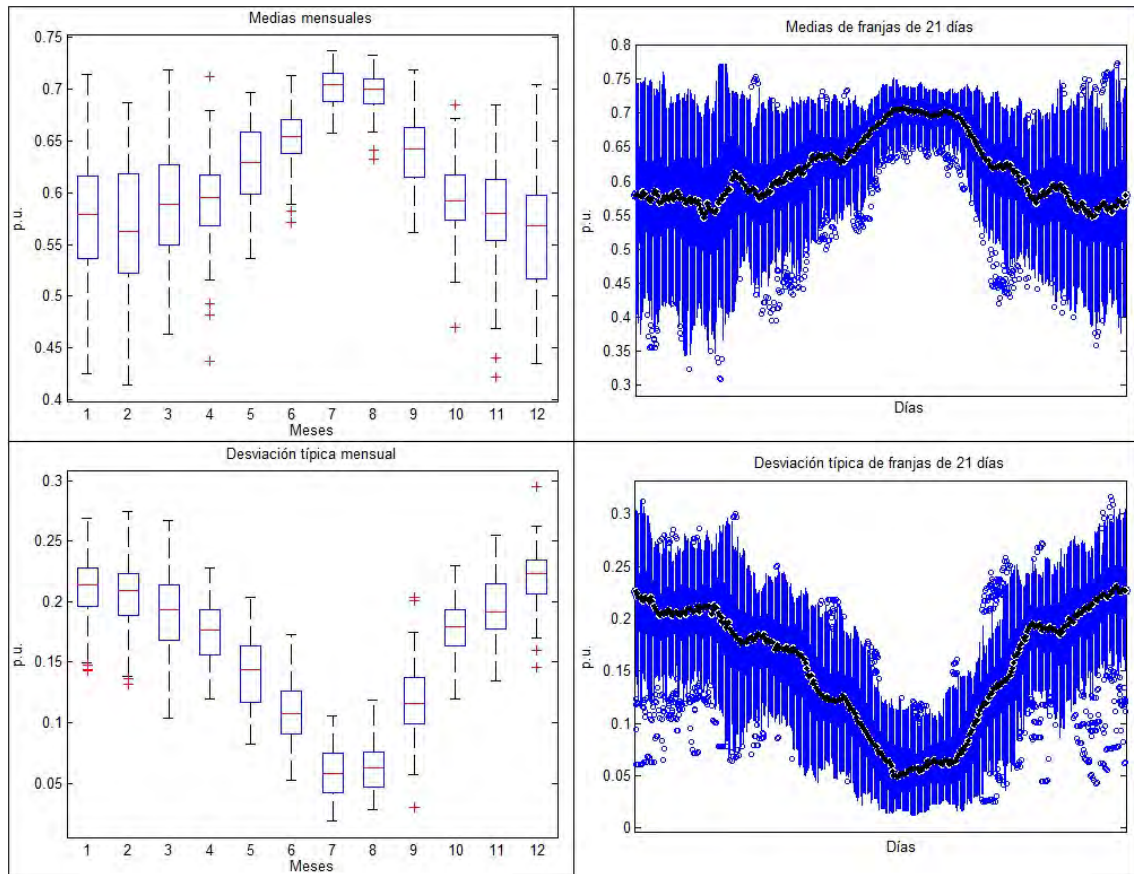


Figura 9.6.3.7.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Córdoba, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Santaella:

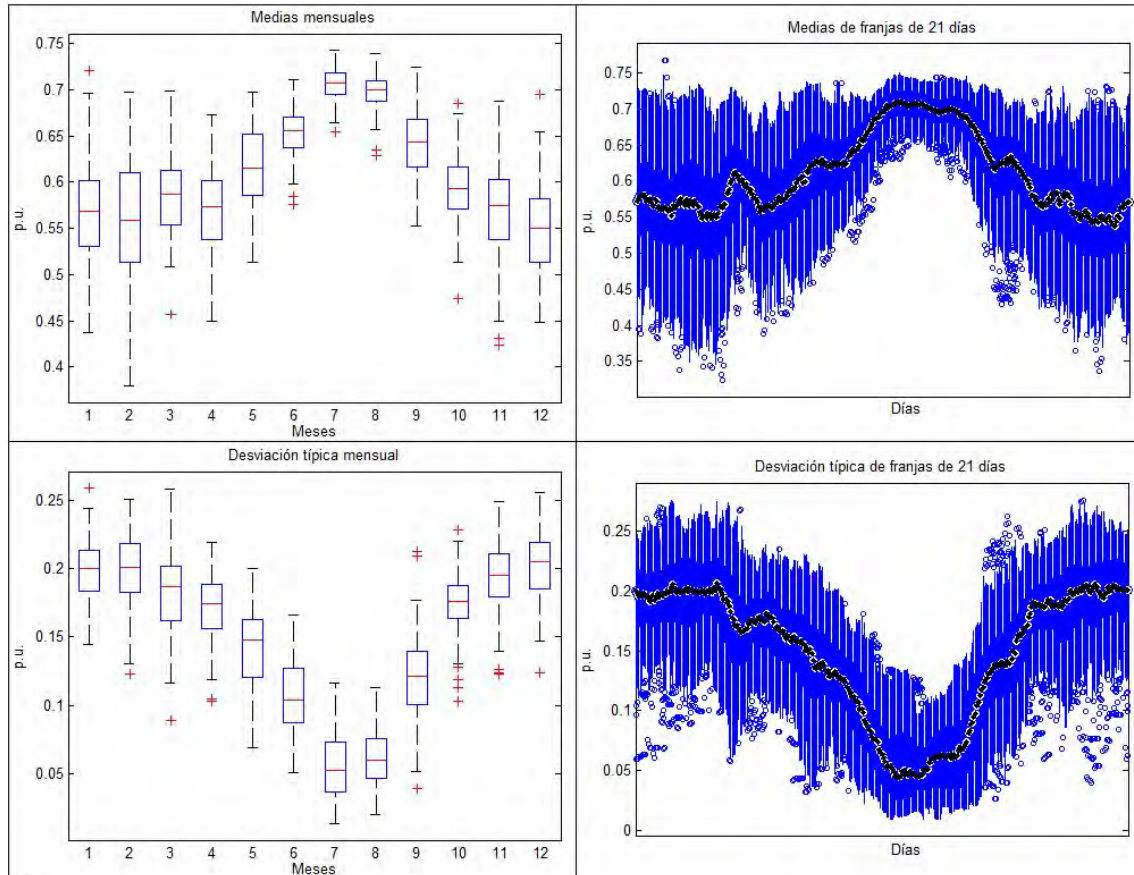


Figura 9.6.3.8.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



**Almería:**

Almería:

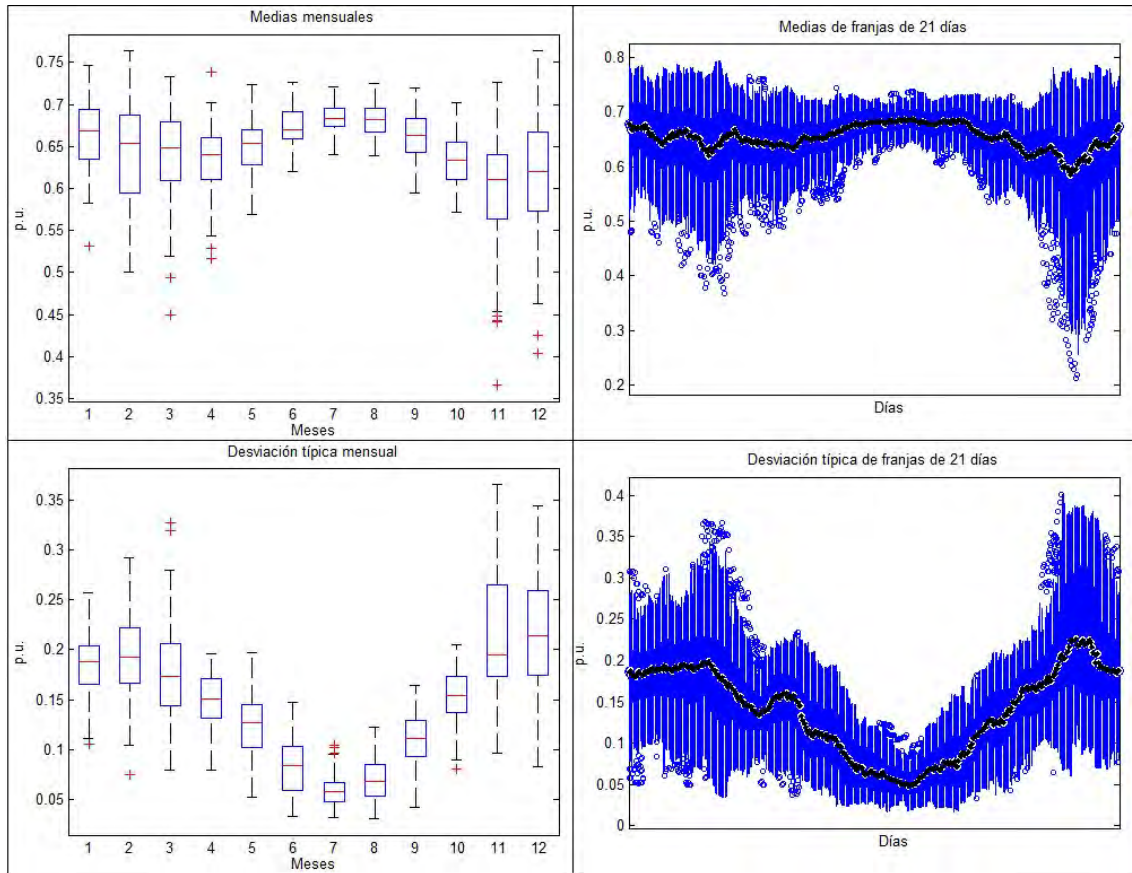


Figura 9.6.3.9.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Almería, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Fiñana:

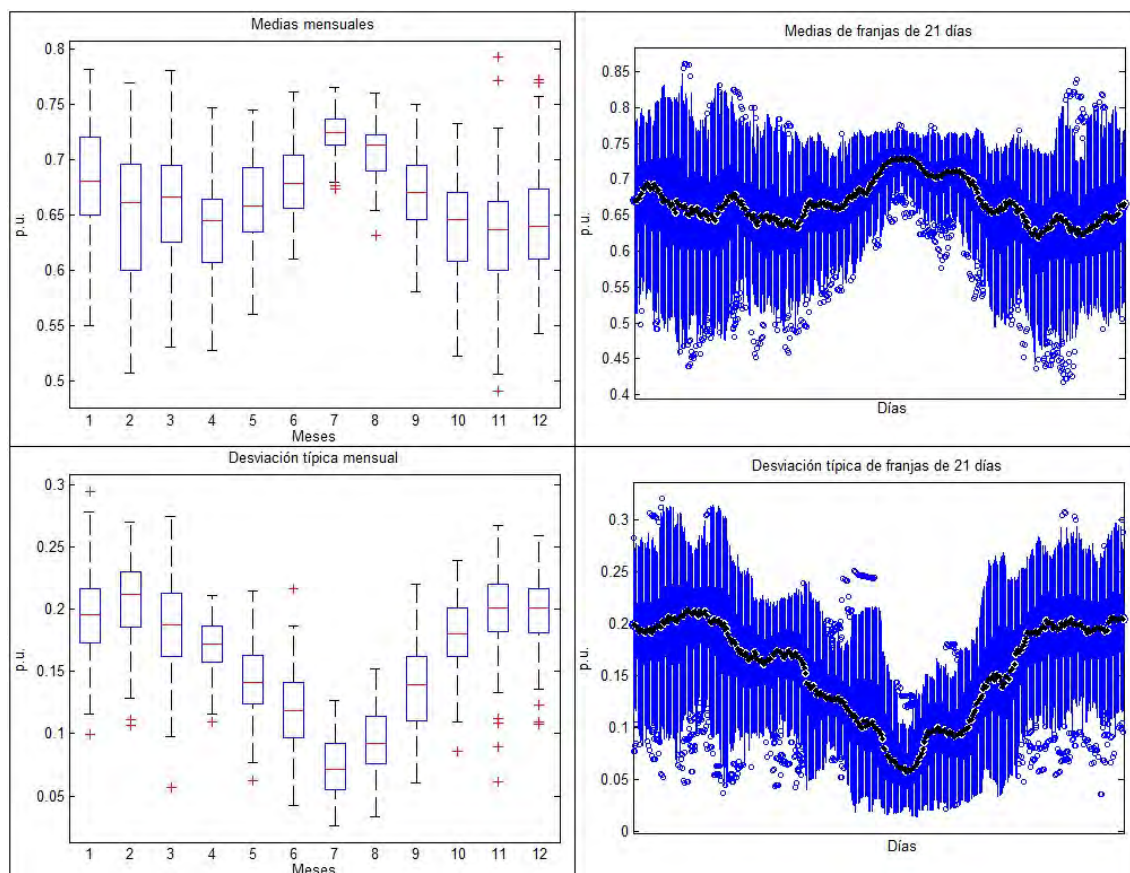


Figura 9.6.3.10.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Fiñana, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



Tabernas:

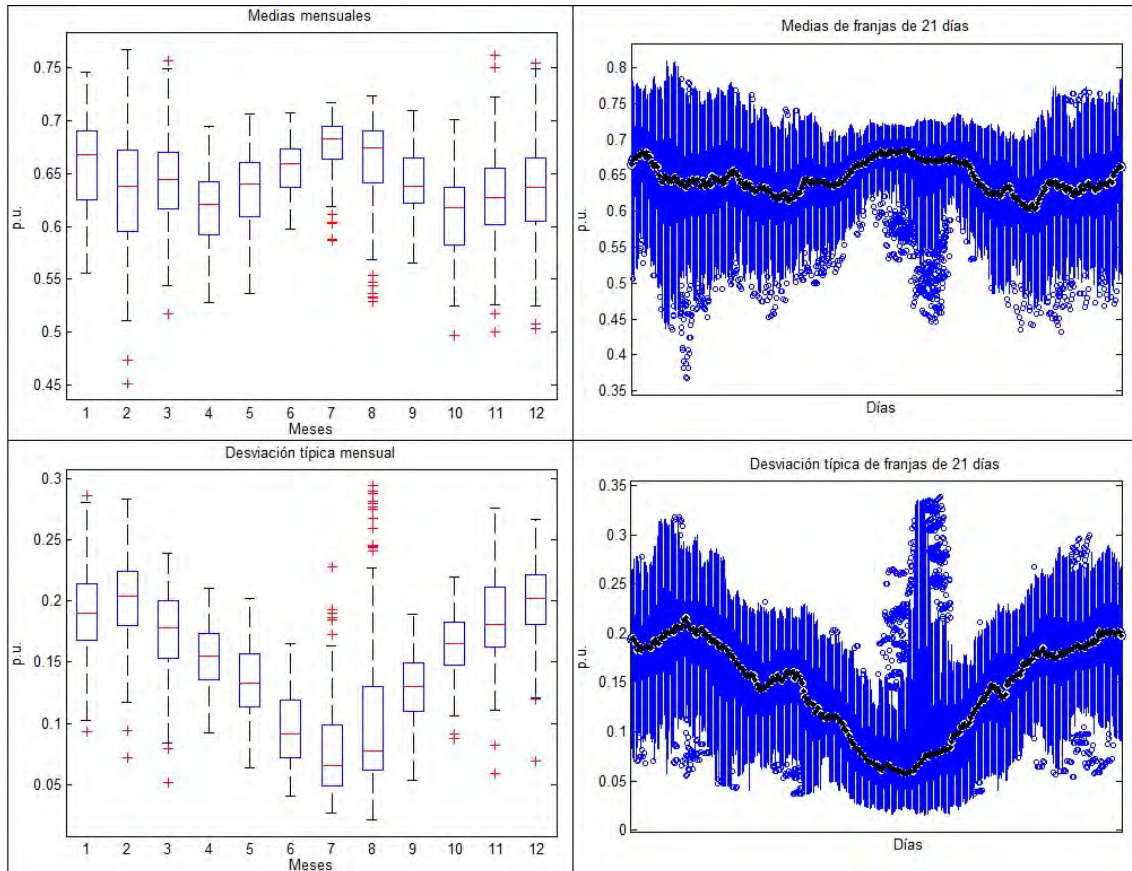


Figura 9.6.3.11.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos horarios de Tabernas, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

El brusco pico en las gráficas de la estación de Tabernas, Almería, se debe a algún valor o conjunto de valores atípicamente bajos, muy probable fruto de algún error de medida en la estación ya que las estaciones de Almería y Fiñanas no lo comparten.

Gráficas de los resultados aplicando el MBB3 a las series de datos de los índices de claridad diarios:

**León:**

Bustillo del Páramo:

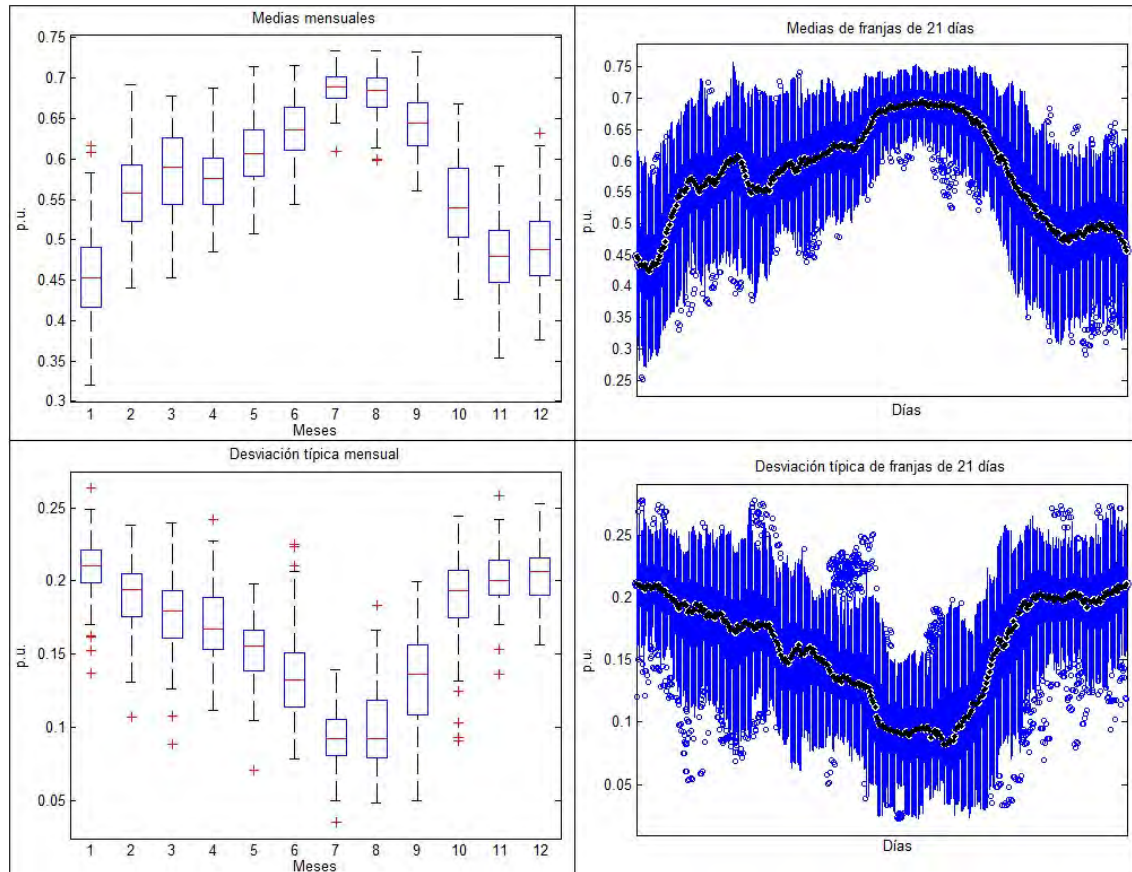


Figura 9.6.3.12.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Bustillo del Páramo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Carracedelo:

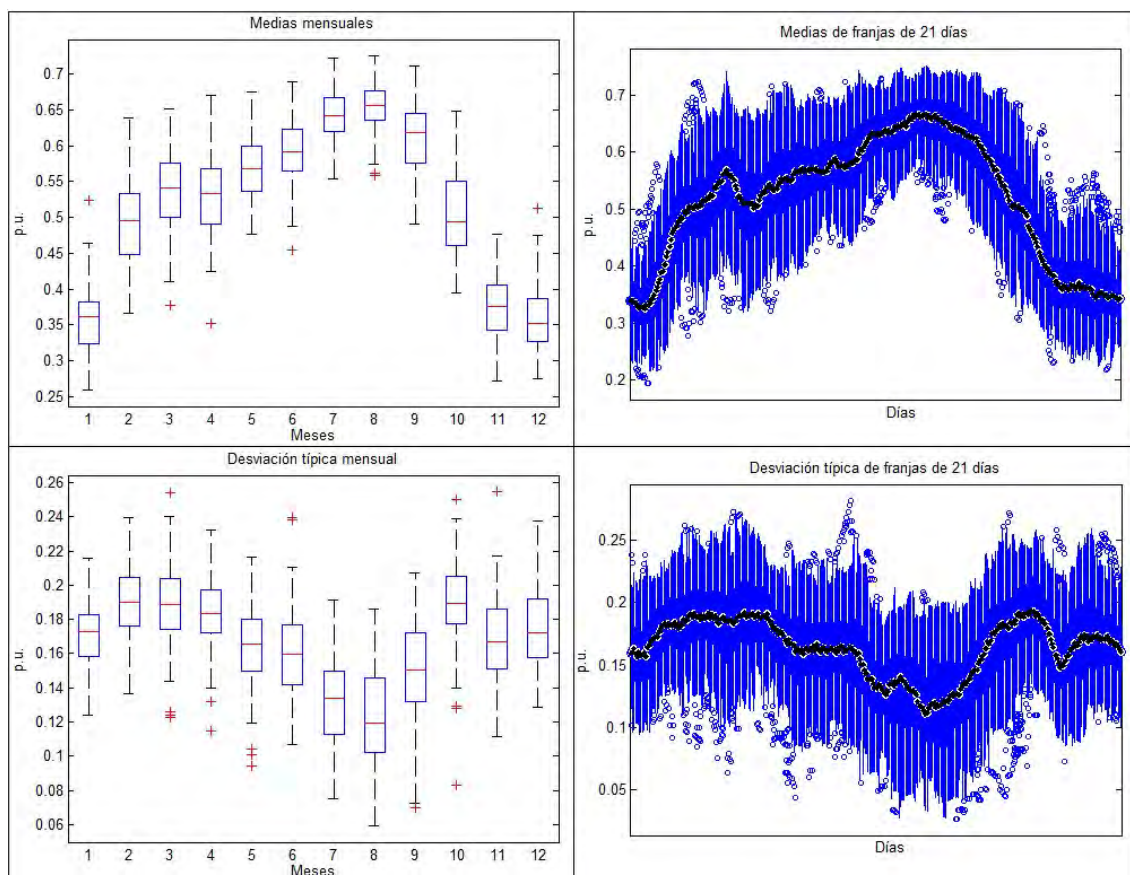


Figura 9.6.3.13.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Carracedelo, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Saguhún:

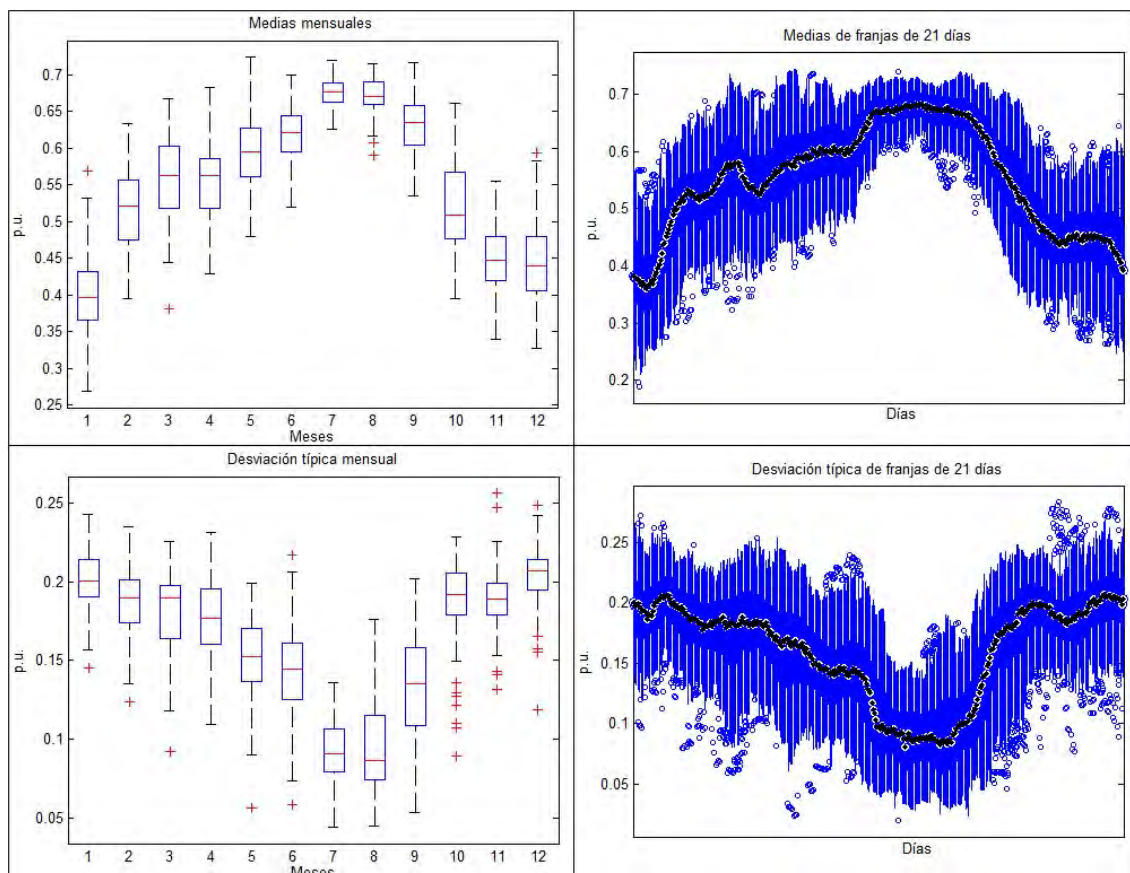
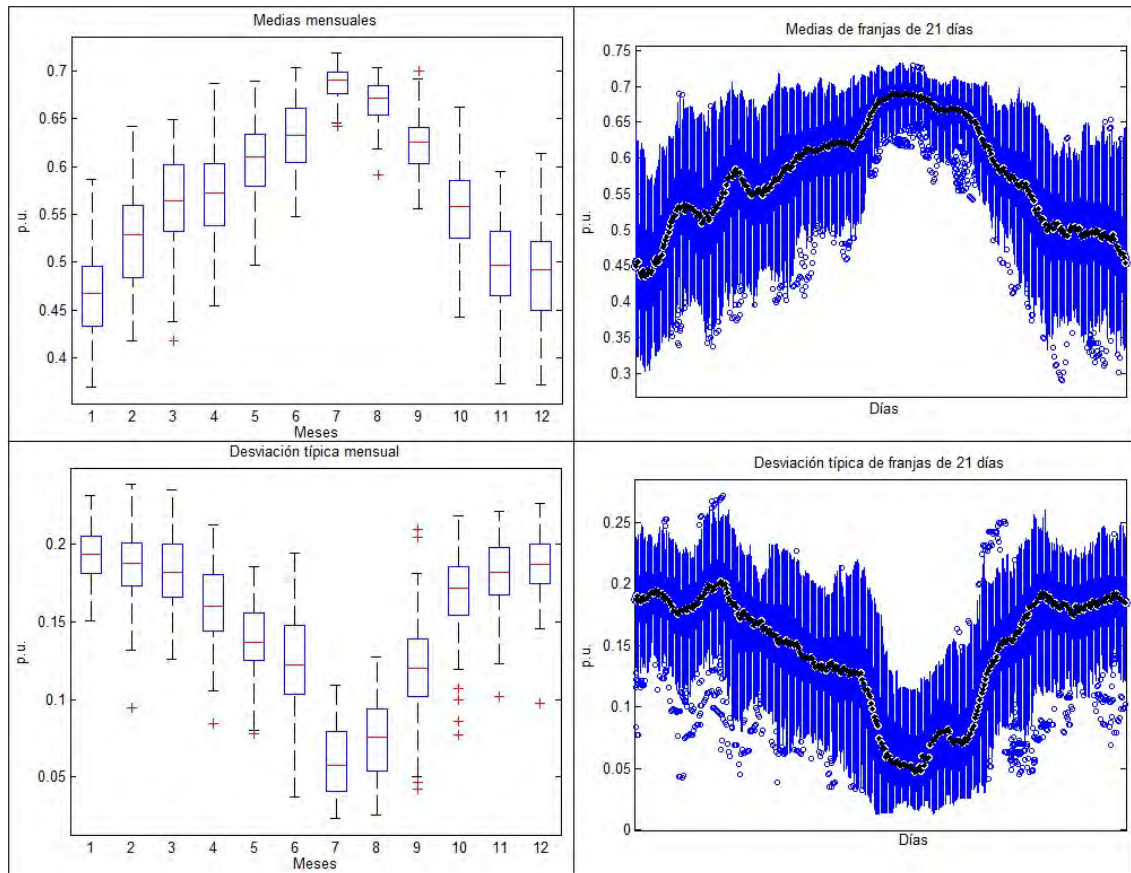


Figura 9.6.3.14.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Saguhún, León. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



**Madrid:**

**Aranjuez:**



*Figura 9.6.3.15.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Aranjuez, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.*

### C. Finca Experimental:

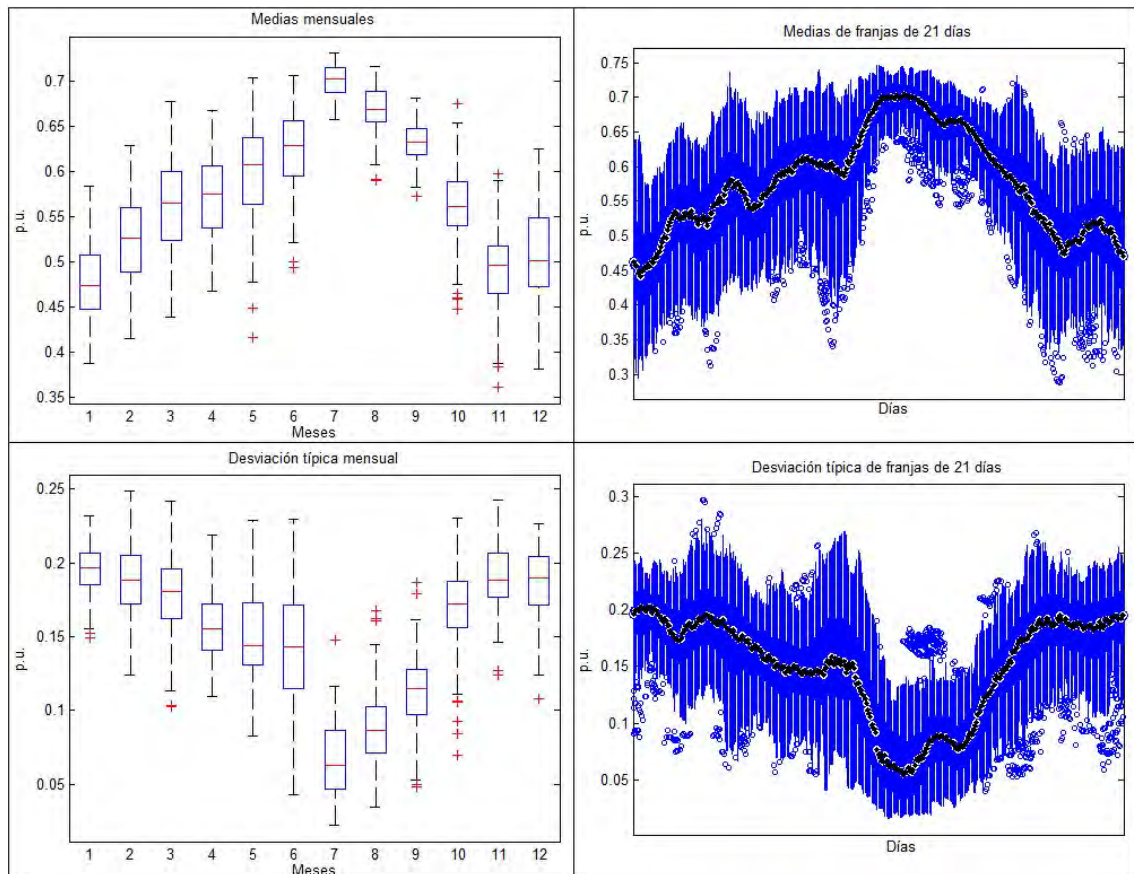


Figura 9.6.3.16.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de C. Finca Experimental, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



## Fuentidueña de Tajo:

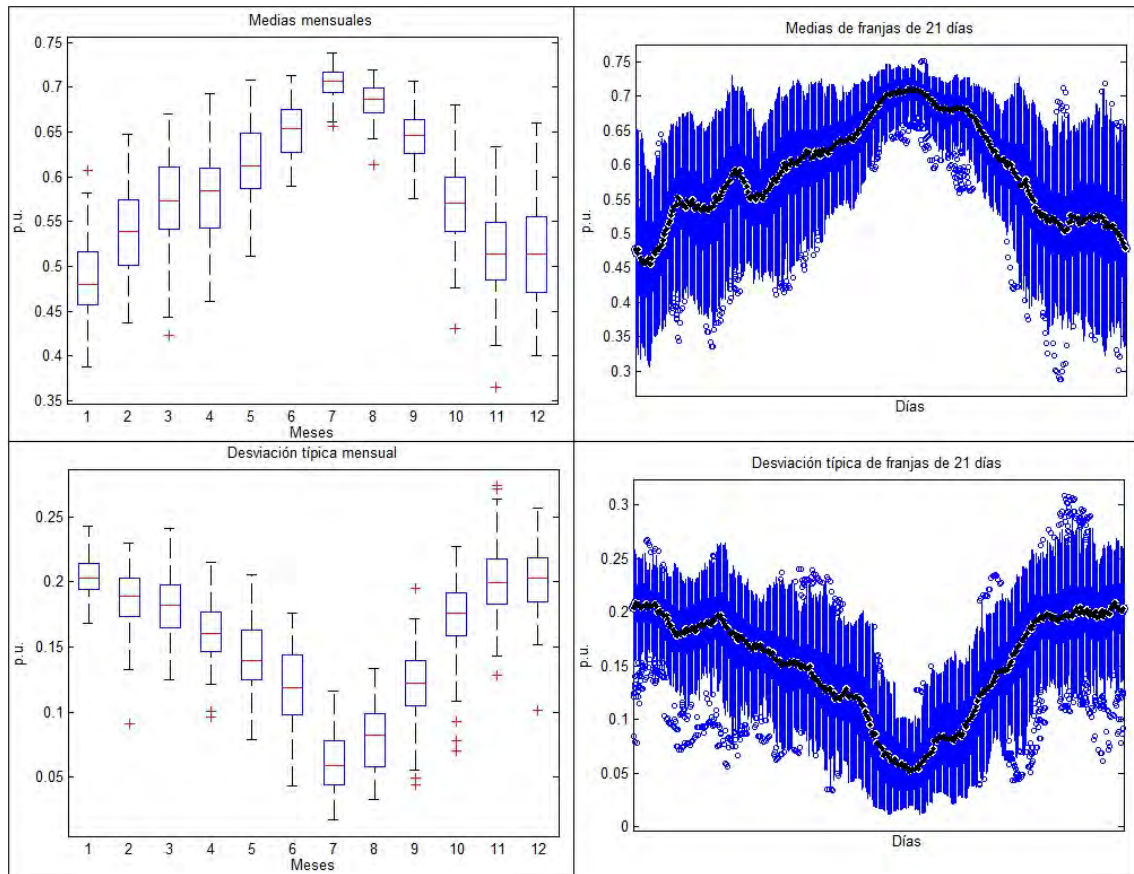
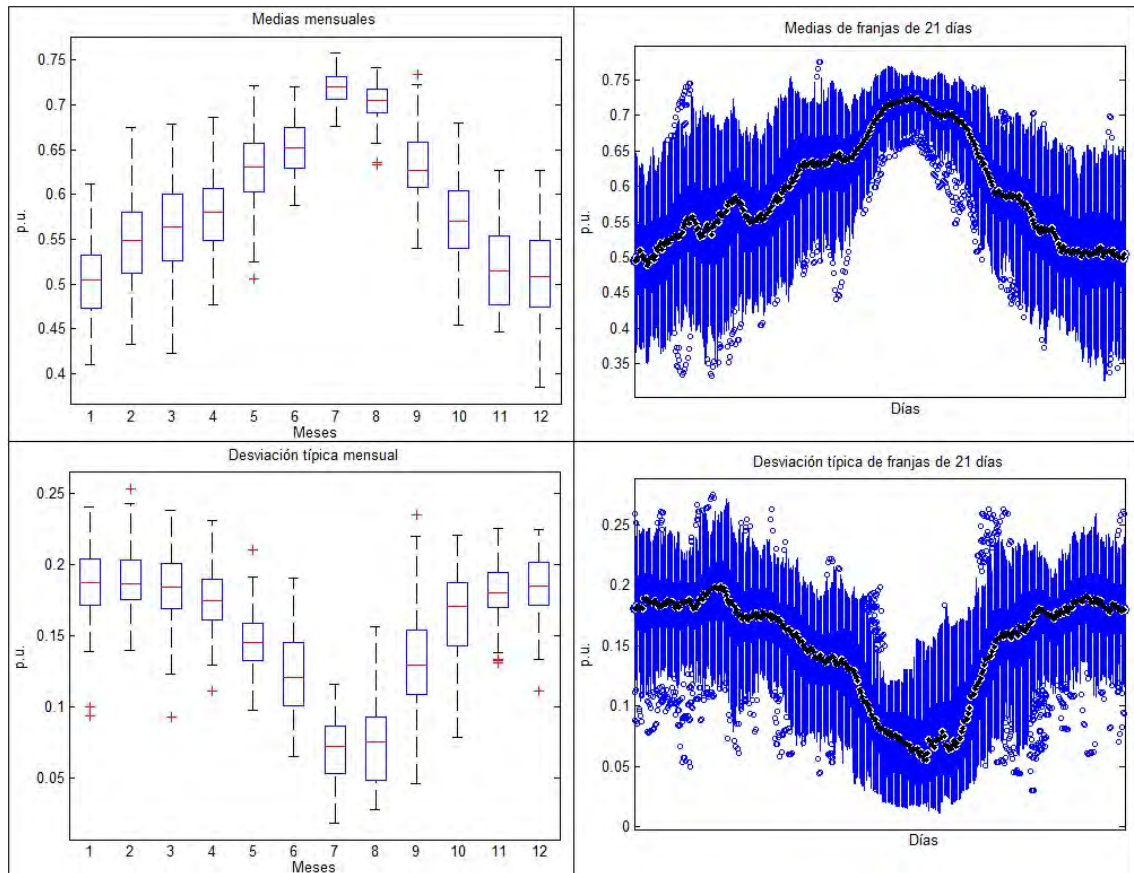


Figura 9.6.3.17.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Fuentidueña de Tajo, Madrid. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

**Córdoba:**

**Belmez:**



*Figura 9.6.3.18.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Belmez, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.*

Córdoba:

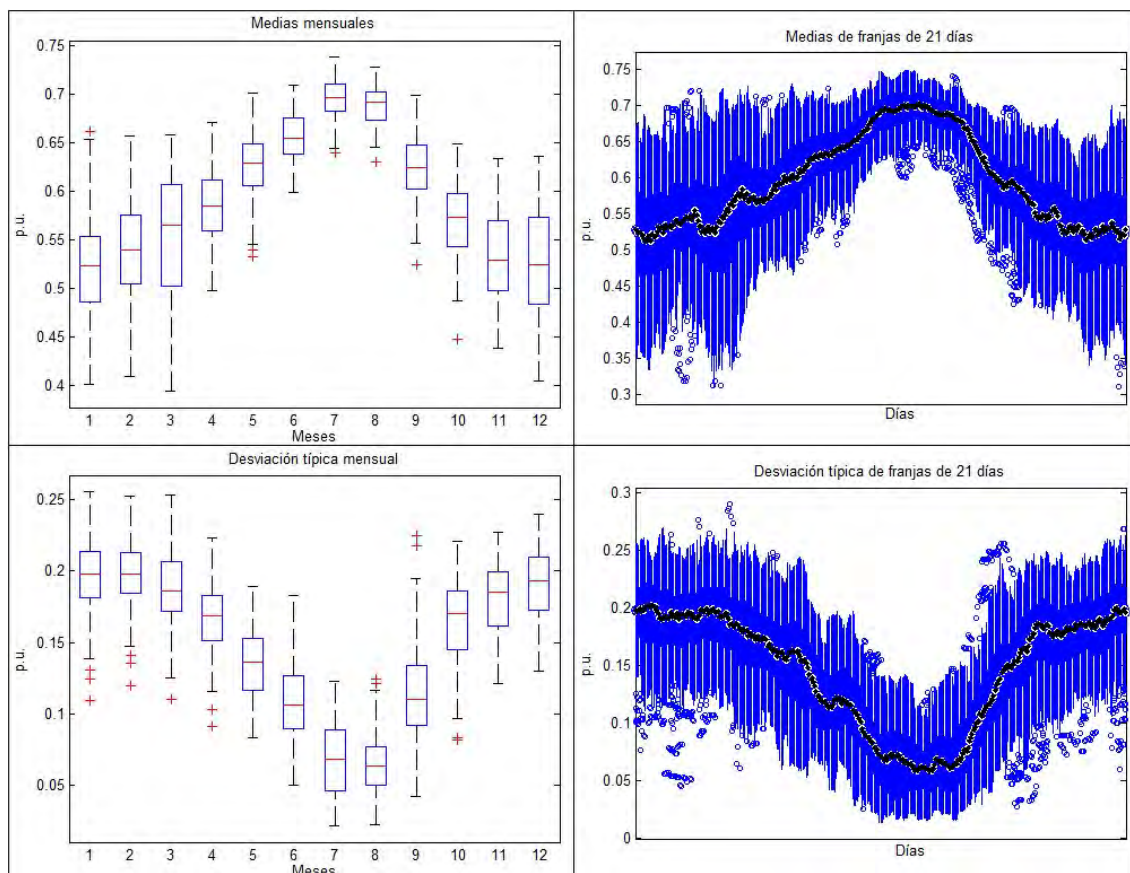


Figura 9.6.3.19.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Córdoba, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

Santaella:

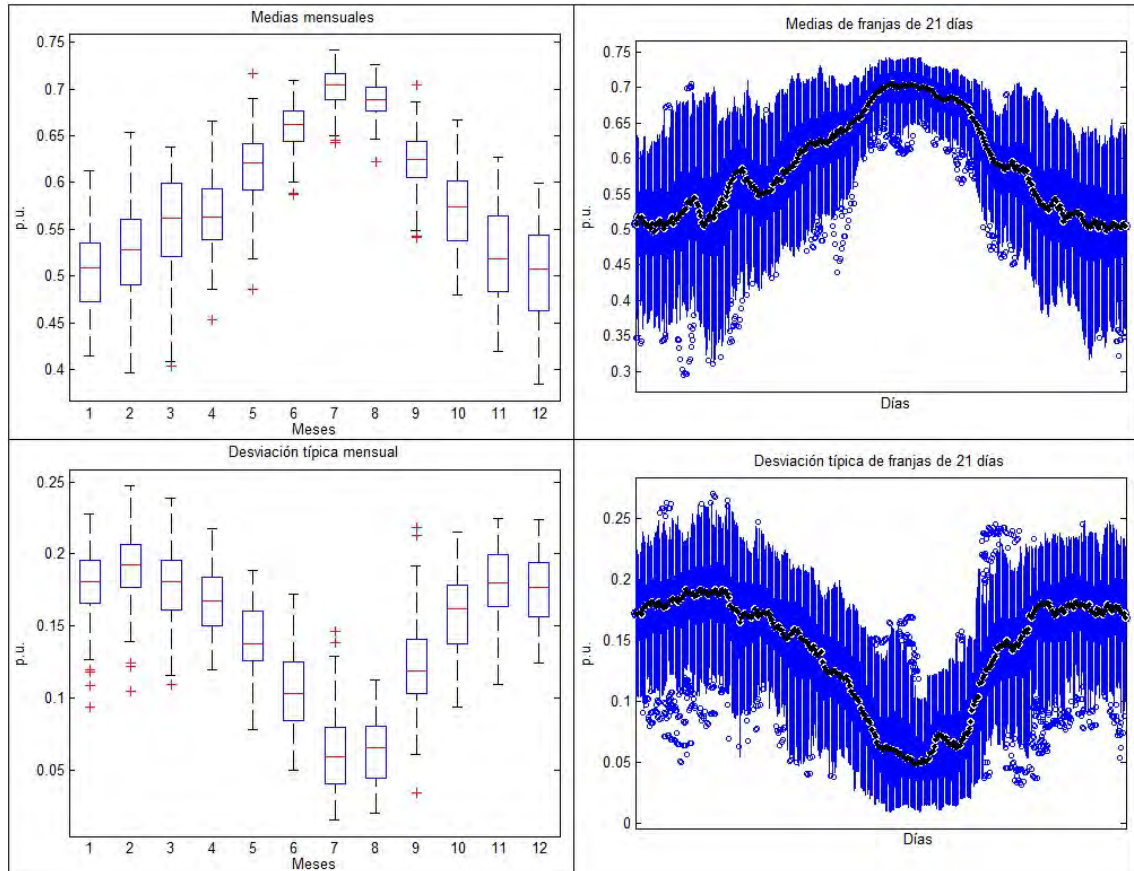
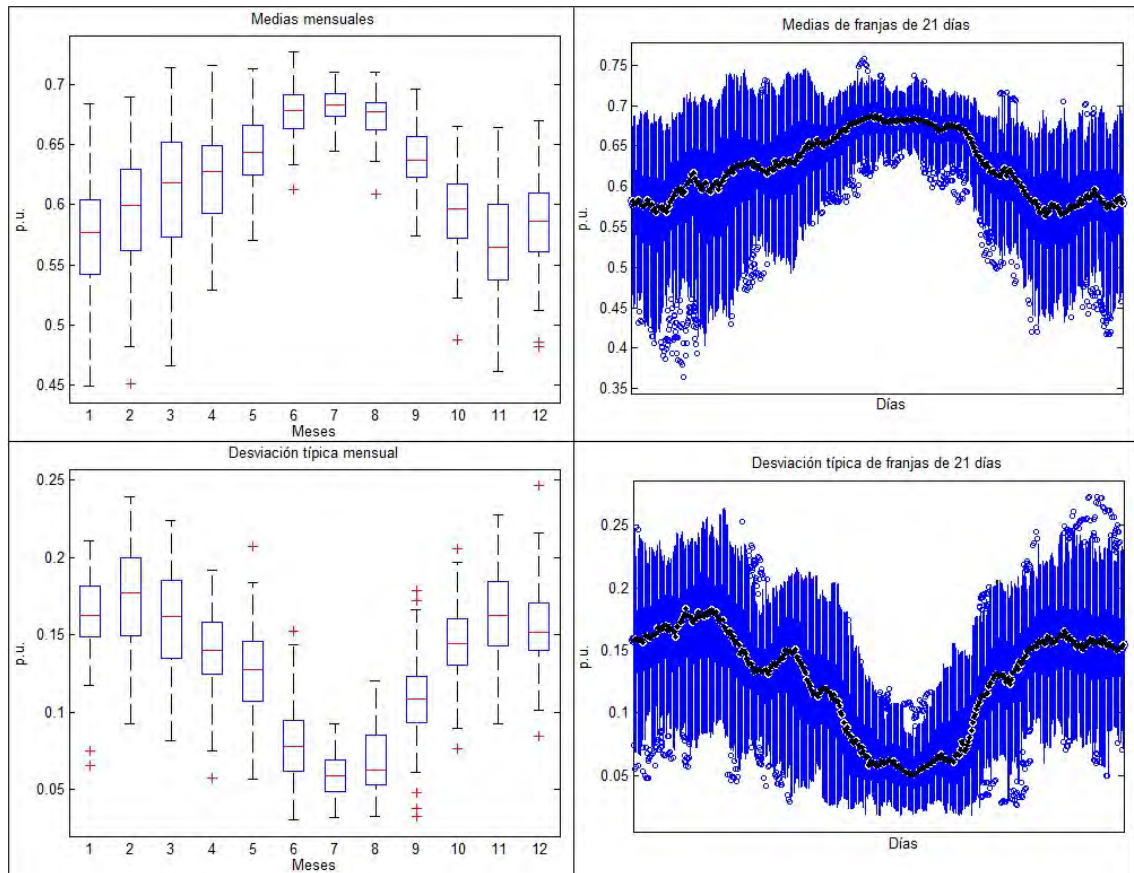


Figura 9.6.3.20.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Santaella, Córdoba. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



**Almería:**

Almería:



*Figura 9.6.3.21.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Almería, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.*

Fiñana:

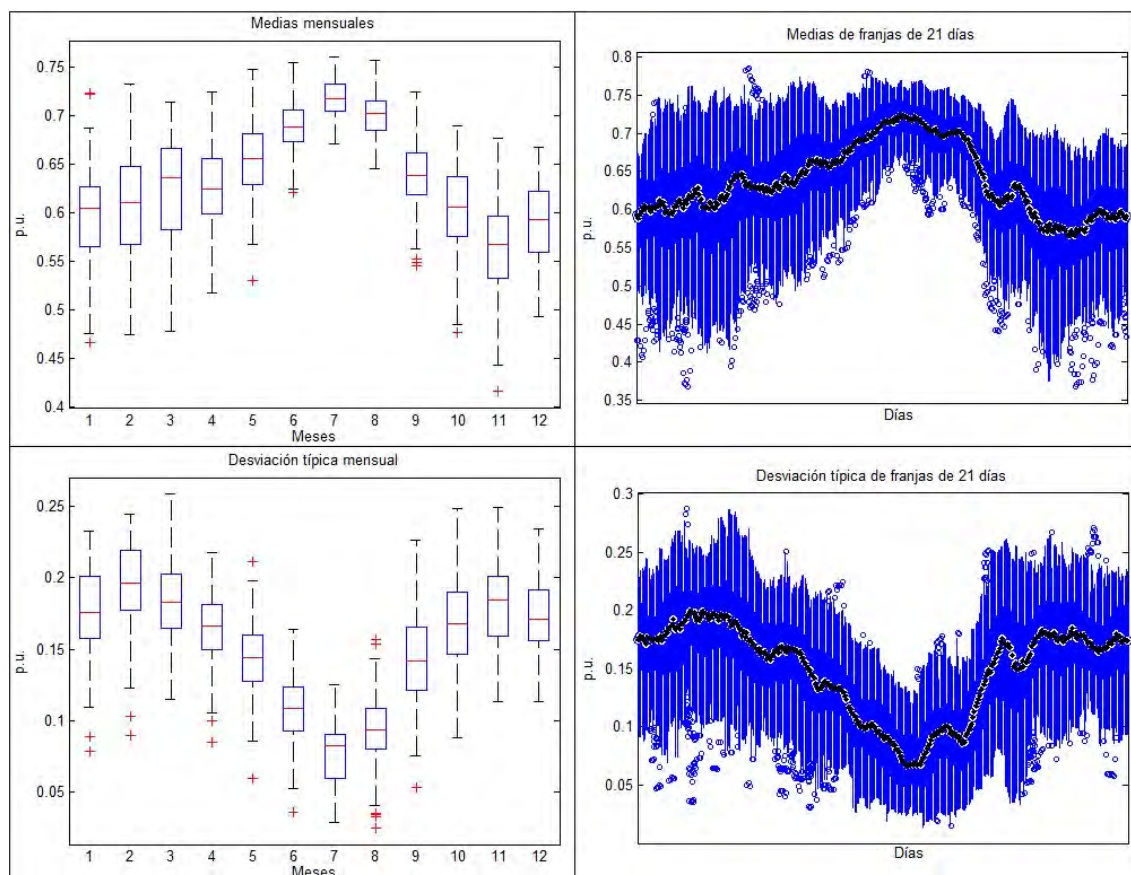


Figura 9.6.3.22.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Fiñana, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.



Tabernas:

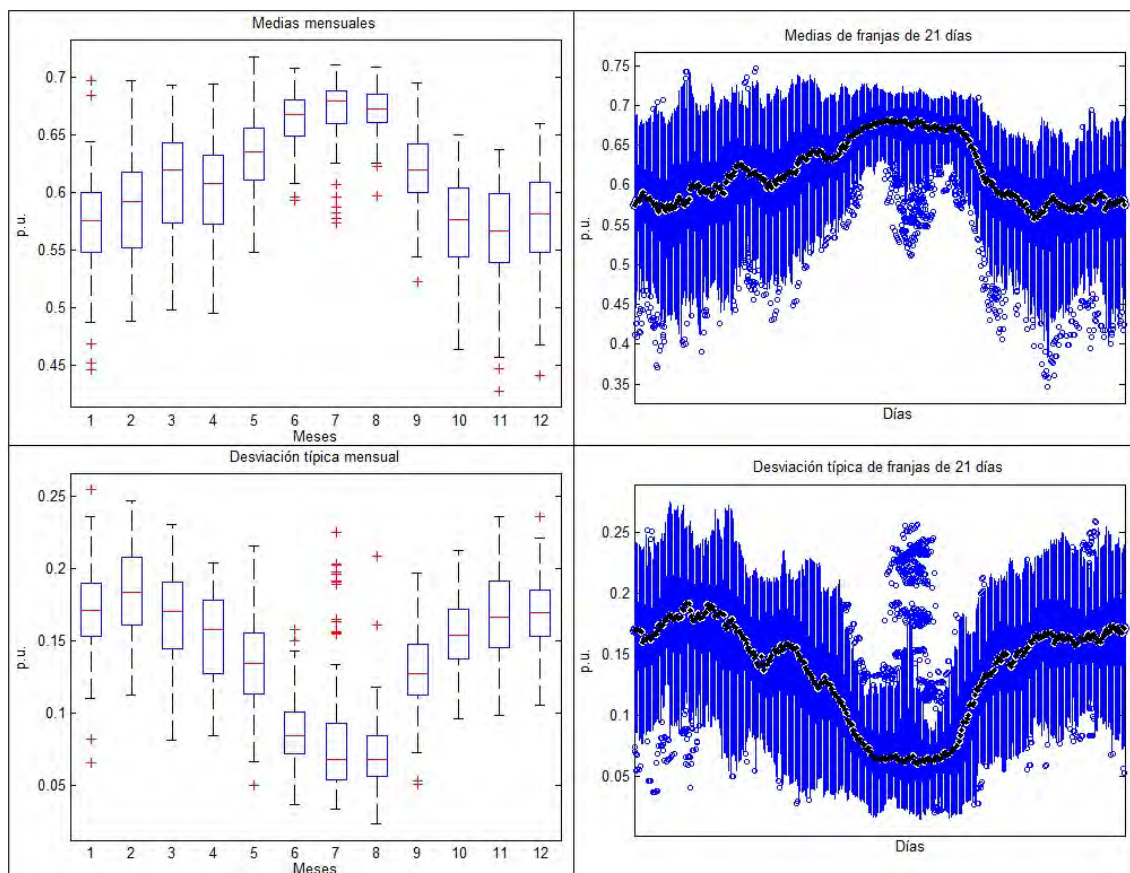


Figura 9.6.3.23.: Diagramas de cajas de las medias mensuales, las medias de franjas de veintiún días, las desviaciones típicas mensuales y las desviaciones típicas de franjas de veintiún días de los índices de claridad horarios de los cien años sintéticos generados empleando el MBB3 con los datos diarios de Tabernas, Almería. Imágenes obtenidas a partir de boxplots usando Matlab.

